

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06112166 A**

(43) Date of publication of application: **22.04.94**

(51) Int. Cl. **H01L 21/302**
C23F 4/00
H01L 21/205

(21) Application number: **04340841**

(22) Date of filing: **22.12.92**

(30) Priority: **08.09.92 US 92 941507**

(71) Applicant: **APPLIED MATERIALS INC**

(72) Inventor: **COLLINS KENNETH S**
YANG CHAN-LON
WONG JERRY YUEN-KUI
MARKS JEFFREY
KESWICK PETER R
GROECHEL DAVID W

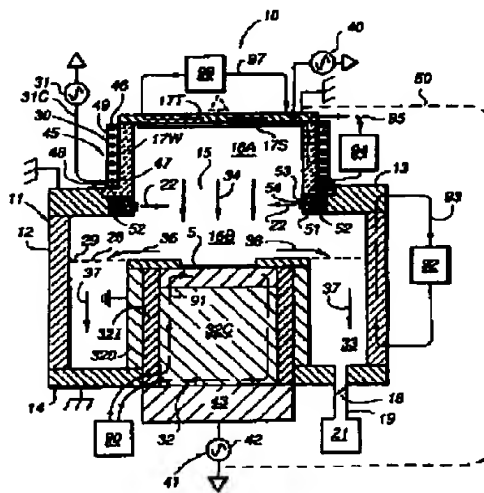
(54) **PLASMA REACTOR USING
ELECTROMAGNETIC RF COUPLING AND
METHOD THEREFOR**

(57) Abstract:

PURPOSE: To work a sensitive device, without giving damages or using microloadings, to raise a yield and to achieve the etching of an oxygen containing layer present on an oxygen non-containing layer at a high selection degree.

CONSTITUTION: A plasma reactor chamber uses an antenna 30 which is driven by RF energy (LF, MF and VHF) inductively coupled inside a reactor dome. The antenna 30 generates a plasma of high density and low energy, for etching the oxygen containing layer present on the oxygen non-containing layer at a high selection degree inside the chamber. Auxiliary RF bias energy impressed to a substrate supporting cathode 32 controls a cathode sheath voltage and controls ion energy, regardless of the density. Along with an etching processing, a vapor-deposition processing and an etching/vapor deposition combined processing, various magnetic and voltage processing improving techniques are presented.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-112166

(43)公開日 平成6年(1994)4月22日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

室内整理番号

FI

技術表示箇所

H 0 1 L 21/302

B 9277-4M

C 2 3 F 4/00

8414-4K

H O 1 L 21/205

審査請求 有 請求項の数10(全 22 頁)

(21)出願番号 特願平4-340841

(22)出願日 平成4年(1992)12月22日

(31)優先権主張番号 07/941507

(32)優先日 1992年9月8日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, INC.
INCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ペニユー 3050

(72)発明者 ケニス エス コリンズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95112 サン ホセ ノース ナインティ
ーンズ ストリート 871

(74)代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

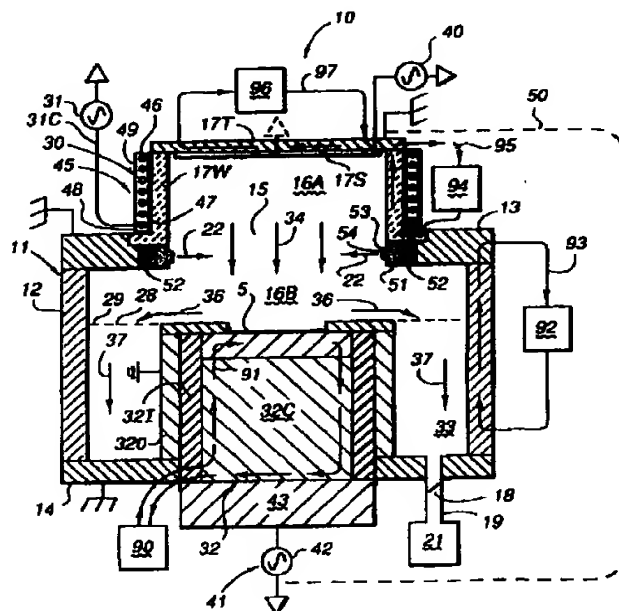
[最終頁に続く](#)

(54)【発明の名称】 電磁RF結合を用いたプラズマ反応装置及びその方法

(57) 【要約】

【目的】 損傷を与えず、マイクロローディングを用いることもなく敏感な装置を加工でき、歩留まりを上げること及び酸素非含有層上にある酸素含有層のエッチングを高い選択度で達成すること。

【構成】 本発明のプラズマリアクターチャンバーはリアクタードーム内に誘導結合されたRFエネルギー（LF，MF，VHF）によって駆動されるアンテナ30を用いる。アンテナ30はチャンバー内に酸素非含有層上にある酸素含有層を高い選択度でエッチングするための高密度、低エネルギーのプラズマを発生する。基板支持カソード32に印加される補助RFバイアスエネルギーがカソードシース電圧を制御し、また密度にかかわらずイオンエネルギーを制御する。エッチング処理、蒸着処理およびエッチング／蒸着組合せ処理とともにさまざまな磁気および電圧処理向上技術を開示する。



【特許請求の範囲】

- 【請求項1】 a) プラズマを発生するための真空チャンバーを備え、
b) チャンバー内の電極上に処理されるべき物質を支持し、
c) 前記チャンバーにフッ素含有エッチングガスを供給し、
d) 前記物質を処理するための高密度プラズマを発生させるため前記チャンバーに、RF電源からRFエネルギーを電磁結合し、
e) 前記支持電極を介して前記チャンバーにRFエネルギーを容量結合し、且つ
f) シリコンイオン源を前記プラズマに与えることを含むプラズマエッチング方法。
- 【請求項2】 前記シリコン源は前記チャンバーのプラズマ領域に位置していることを特徴とする請求項1に記載の方法。
- 【請求項3】 アンテナ電力と前記支持電極に供給されるバイアス電力が異方性、半異方性および等方性に影響するように変えられることを特徴とする請求項1又は2に記載の方法。
- 【請求項4】 処理される物質は酸素非含有材料とその表面にある酸素含有材料を含むことを特徴とする請求項1乃至3に記載の方法。
- 【請求項5】 前記フッ素含有ガスは CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 から成るグループから選択されることを特徴とする請求項1乃至4に記載の方法。
- 【請求項6】 基板は単結晶シリコン、ポリシリコン、窒化シリコン、タンガステンシリサイド、窒化チタニウム及びアルミニウムからなるグループから選択されることを特徴とする請求項1乃至5に記載の方法。
- 【請求項7】 前記酸素含有材料は酸化シリコン或いはガラスであることを特徴とする請求項4に記載の方法。
- 【請求項8】 50%以上のカーボンと40%以下のフッ素を含む不活性ポリマーが基板上に形成されていることを特徴とする請求項1乃至7に記載の方法。
- 【請求項9】 約50パーセント以上の重量のカーボンと40%以下の重量のフッ素を含むカーボン・フッ素含有ポリマーが形成されることを特徴とする請求項1乃至8に記載の方法。
- 【請求項10】 a) プラズマを発生するための真空チャンバーと、
b) 前記チャンバー内に設けられ、処理されるべき物質を指示する電極と、
c) 前記チャンバーにフッ素含有エッチングガスを供給する手段と、
d) 前記物質を処理するための高密度プラズマを発生させるため前記チャンバーに、RF電源からRFエネルギーを電磁結合する手段と、
e) 前記支持電極を介して前記チャンバーにRFエネルギーを容量結合する手段と、

ギーを容量結合する手段と、

f) 前記プラズマにシリコンイオンを与えるシリコンイオン源を有することを特徴とするプラズマ反応装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はRFプラズマリアクターに関し、より詳細には関連するRF電磁波をプラズマに電磁結合するための高周波(RF: Radio Frequency)エネルギー源と、プラズマに接触しているシリコン源を用いるプラズマリアクター、及びリアクターにおいて処理される方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 高密度集積化の趨勢は、電氣的に敏感で約200-300ボルト程度の小さなウエハシース電圧にさらされると、エネルギー粒子衝撃のために損傷を受けやすい非常に小さな寸法形状の部品や装置をもたらした。残念ながら、かかる電圧は回路部品が標準的な集積回路製造工程中に経験する電圧より小さい。

【0003】 先端装置用に製造されるMOS型コンデンサおよびトランジスタは非常に薄い(厚さ200オングストローム以下)のゲート酸化物を有する。これらの装置は充電によって損傷することがあり、それによってゲート破壊が発生する。これは表面電荷の中性化が起こらないときに、プラズマ電位あるいはプラズマ密度の不均一によって、あるいは大きなRF変位電流によってプラズマ処理中に発生することがある。間接統線等の導体もまた同じ理由で損傷を受ける場合がある。

【0004】 非常に高いアスペクト比、即ち非常に深さと非常に狭い開口及びトレンチが種々の半導体材料に形成され、或いは種々の半導体材料で満たされなければならないときは、従来のプラズマ・エッチング・チャンバー内において達成されるエッチング方法は不適當である。

RFシステム

CVD(化学蒸着)反応システムやRIE(Reactive Ion Etching)反応システム等の従来の半導体処理システムをまず考察する。これらのシステムは約10-500KHzの低い周波数から約13.56-40.68MHzの高い周波数までの高周波エネルギーを使用することがある。約1MHz以下ではイオンと電子は振動電界あるいはプラズマ中に発生する任意の定常状態の電界によって加速することができる。このような比較的低い周波数においては、ウエハに発生する電極シース電圧は通常1キロボルトピーク以上であり、これは200-300ボルトの損傷しきい値よりはるかに高い。数MHz以上では、電子は依然として変化する電界に追従できる。イオン量がこれより多くなると変化する電界に追従できず、定常状態の電界によって加速される。この周波数範囲(および実用的なガス圧と電力レベル)において、定常状態のシース電圧は数百ボルトから1,000ボルト以上の範囲であ

る。

磁界一増強

RFシステムのバイアス電圧を低下させるための好ましい方法として、プラズマに磁界を加える方法がある。このBフィールドは電子を基板の表面に近い領域に閉じ込め、イオン束密度とイオン流を増大させ、したがって電圧およびイオンエネルギー条件が低減される。比較例として、二酸化シリコンをエッチングするための代表的な非磁性RIE処理には13.56MHzで印加されるRFエネルギー、体積10-15リットルの非対称系、50ミリの圧力および約(8-10)対1のアノード領域/基板支持カソード領域比を用い、約800ボルトの基板(カソード)シース電圧を発生する。60ガウスの磁界を印加するとバイアス電圧が約25-30%、800ボルトから約500-600ボルトに低下し、エッチング速度が約50%も増大する。

【0005】しかし、基板に平行な定常Bフィールドを印加すると、E×Bイオン/電子ドリフトとそれに関連する基板全体にプラズマ密度勾配が発生する。このプラズマ勾配によって基板上のエッチング、蒸着その他の膜特性の不均一が発生する。この不均一性は基板の周囲で磁界を回転させることによって低減することができ、この回転は通常永久磁石の機械的運動、あるいは90°ずれた直角位相で駆動される電磁コイル対、あるいはコイル対の電流を磁界中で制御された速度で歩進あるいはその他の運動をするように瞬間的に制御することによって低減することができる。しかし、磁界の回転によって不均一勾配は低減されるが通常ある程度の不均一性は残る。

【0006】さらに、コイルの設置、特に二つあるいはそれ以上の対になったコイルをチャンバーに設置してコンパクトなシステムを構成することは困難であり、ヘルムホルツコイル構成もしくは共通のロードロックを取り巻く個々の磁気増強された反応装置チャンバーからなる複数チャンバーシステムを用いる場合特に困難である。

【0007】磁界の強度と方向を瞬時に選択的に変える能力を持ち、小型複数チャンバー反応装置システムに用いるように設計された独特な反応装置システムがChengその他の名において同時譲渡された1989年6月27日付け米国特許第4,842,683号に開示されている。

マイクロ波/ECRシステム

マイクロ波システムおよびマイクロ波ECR(電子サイクロトロン共鳴)システムでは、800MHz以上で通常2.45GHzの周波数のマイクロ波エネルギーを用いてプラズマを励起する。この技術によって高密度のプラズマが発生するが、粒子エネルギーは二酸化シリコンの反応性イオンエッチング等の多くの処理に対する最小反応しきい値エネルギーより低い場合がある。これを補償するために、エネルギー増強用の低周波電力が基板支持電極に結合され、また基板を通してプラズマに結合される。

このようにして、基板の損傷の可能性は従来のシステムに比べて小さくなる。

【0008】しかしながら、エッチングあるいはCVDといった半導体基板処理のための実用的な電力レベルで動作するマイクロ波システムおよびマイクロ波ECRには電力送出用の大型導波管、高価な同調器、方向性結合器、サーキュレータ、および動作のダミー負荷を必要とする。さらに、2.45GHzの商用周波数で運転されるマイクロ波ECRシステムのECR条件を満足するために、875ガウスの磁界が必要となり、これには電磁石、電力および冷却仕様も大きくする必要がある。

【0009】マイクロ波システムおよびマイクロ波ECRシステムの拡大・縮小は容易ではない。ハードウェアは2.45GHzについて利用可能である。それはこの周波数がマイクロ波オープンに用いられるためである。915MHzのシステムも利用可能であるがコストが高くなる。他の周波数用のハードウェアは容易にあるいは経済的に入手することができない。その結果、5-6インチのマイクロ波システムを拡大してより大きな半導体基板を処理しようとする場合、より上位の動作モードが必要である。このより上位のモードでの動作による一定周波数における規模拡大にはより上位のあるいはより下位の負荷へのいわゆるモードフリップिंगとその結果発生する工程の変化を防止するための非常に厳格なプロセス管理が必要となる。あるいは、たとえば5-6インチのマイクロ波空洞については発散磁界を用いてプラズマ束をより広い範囲に拡散させることによってこの規模の拡大を達成することができる。この方法によれば有効電力密度したがってプラズマ密度が低下する。

【0010】更に、ECRシステムは2-3ミリのオーダーの非常に低い圧力で動作されなければならない。何故ならば、このシステムにおいて発生されるプラズマの密度は非常に急速におよそ2-3ミリトル以上になるからである。これは大量の反応ガスがシステムに供給されることを要求し、かつこれらの大量のガスを除去するために大量の排気システムを必要とする。

RF伝送線システム

前述したように、発明者Collinsその他の名で1990年7月31日同時譲渡された『VHF/UHF反応装置システム』と題する親米国特許出願559,947号(A MATファイル151-1)をここでは参照している。この出願では反応室自体の一部が整合ネットワークからチャンバーに高周波プラズマ発生エネルギーを印加するための伝送線構造として構成された高周波VHF/UHF反応装置システムを開示している。この独特の一体型伝送線構造は、整合ネットワークと負荷との間の非常に短い伝送線要求を満たし、50MHzから800MHzの比較的高い周波数の仕様を可能にする。これはプラズマ電極へのRFプラズマ発生エネルギーの効率的で制御可能な印加を可能にし、比較的低いイオンエネルギーと低い

シース電圧で商業的に許容できるエッチング速度および蒸着速度を発生させる。この比較的低い電圧によって電気的に敏感な小さな寸法形状の半導体装置への損傷の可能性が低下する。このVHF/UHFシステムは上述した拡大・縮小の可能性や電力上の制約といった従来の技術における他の種々の問題点を防止する。

【0011】

【発明の概要】一つの観点において、本発明は先行技術の問題点を解決するものであるが、本発明はソース領域を有する真空チャンバー、このチャンバー内のあるプロセスガス源、このプロセスガスからプラズマを発生するためにプラズマ領域にRFエネルギーを電磁結合する手段、支持電極のプラズマシース電圧を制御するために基板支持電極にRFエネルギーを容量結合する手段、及びプラズマに接しているシリコン源を含むRFプラズマ処理システムの構成及び動作に具現化される。

【0012】好ましくは、RFアンテナ手段がプラズマ領域に隣接しており、RFエネルギー源に結合されている。本発明のチャンバーはプラズマ処理を増大するために処理領域にあるRFカソード、チャンパー壁によって限定されるアノード、及び電気的に浮いているか、接地されるか、或いはRFバイアスに接続されることができる第3の電極を有している。第3の電極及び/又はプラズマ領域を限定するチャンパー壁は、例えば酸化エッチングのような処理を増大するためのシリコン源であってもよい。本発明の装置を用いて、プラズマエッチングは殆ど無限に選択することができ、またプラズマ蒸着は空隙を除くことができる。

【0013】

【実施例】1. 概要

本発明はエッチング処理の改良された選択度と種々のエッチング速度、及び蒸着層の蒸着、エッチングとプラナリゼーション（平坦化）の同時化を可能にするプラズマ処理用の装置及び方法を提供する。

【0014】本発明のチャンパーにおいて、好適には、100KHz から100MHz の範囲内のLF/VHF（低周波数から非常に高い周波数まで）RF電力が用いられる。より好適には、300KHz から3MHz の範囲内のMF（中周波）RF電力が用いられる。好ましくは、結合手段はコイルをほどこいた電気長が $\lambda/4$ より小さい多重巻円筒状コイルアンテナである。ここで λ はプラズマ動作中にコイルアンテナに印加される高周波RF励起エネルギーの波長である。

【0015】また、本発明はアンテナを共振に同調するためのアンテナに接続された手段を含み、同様にプラズマ源の入力インピーダンスをアンテナのためのRFエネルギーを供給する手段の出力インピーダンスに整合させるためのアンテナに接続された負荷手段を含む。この同調手段はアンテナの一端とRFアースの間に電気的に接続された可変キャパシタンスとすることができる。RF

エネルギーはコイルアンテナ上の選択された位置にタップを介して印加することができる。

【0016】本発明は、プラズマ源領域を形成する誘電体ドーム或いは誘電体シリンダーを含む。コイルアンテナが高周波電磁エネルギーをチャンパー内に誘導結合するためにドームを取り巻くことが好適である。製作される物品又は基板はプラズマ源領域或いはドーム内に、アンテナの巻線或いは最下部の巻線の内部に或いは接近して、或いは好ましくはアンテナの下方に配置することができる。

【0017】本発明は、またドームの上部のガス取入口、ドームのプラズマ源領域の基部の第1のリングマニホールド、及び基板支持電極を取り巻く、チャンパーに処理用の希釈剤、パッシベーション、その他のガズを選択的に供給するための第2のリングマニホールドからなるチャンパーにガスを供給する手段を含む。更に、AC電源及び制御システムが、通常プラズマ源コイル電力と同じか、それに近い周波数であるACバイアス電力を基板支持カソードに結合し、それによってプラズマ源RF電力によって行われるプラズマ密度制御から無関係にカソードシース電圧とイオンエネルギーの制御を行う。このシステムは多数の目的を果たすように選択されたバイアス周波数を提供する。まず、周波数の上限は“電流に誘起される”損傷（周波数が高すぎる場合は敏感な装置にチャージアップ損傷が発生することがある）を防止するように選択される。バイアス周波数が低いほど単位バイアス電力当たりの基板シース電圧（基板の加熱を除く）は高くなり、プラズマ密度に対する貢献は小さく、従ってイオン密度とイオンエネルギーの独立的制御が向上する。しかし、バイアス周波数が低くすぎると、インオが基板シース電界のRF成分に追従し、それによって、イオンエネルギーが変化する。その結果、ピーク/平均エネルギー率が高くなり、イオンエネルギー分布が広がる（2ピーク）。バイアス周波数が非常に低いと、絶縁体のチャージアップが発生し、バイアス周波数期間の一部においてイオン誘起処理を不能とする。上記の注意事項を満足する好適な周波数範囲は上記した好ましいプラズマ源周波数範囲に対応する。

【0018】更に、本発明は、DCバイアス電圧を選択された低い値と高い値の間の周期的なパルスにして、エッチングされる基板上の第1の選択された材料の上にパッシベーションコーティング（不動態化被覆）、例えばポリマー被覆を形成する制御手段を含み、基板材料のエッチング速度を比較的低くし、また第2の材料、例えば基板上にある第2の材料の層を比較的高い速度と選択度で選択的にエッチングするようにしている。

【0019】また、チャンパーはチャンパー本体に接続された第1の真空ポンプ手段とドームに接続された第2の真空ポンプ手段によって排気され、それによりドーム外への中性粒子の流れを確立するためのドーム内の垂直

方向の圧力差を確立するようにしており、基板支持電極の電圧は帯電した粒子がチャンパー本体に向かって流れるようにこの圧力差を克服するに十分なものとなっている。

【0020】また、本発明は、コイルアンテナ又はその他の結合手段と反応チャンパー間に介装され、高周波電磁エネルギーの電界成分のチャンパーへの結合を防止する異なる構成の導電性ファラデーシールドが含まれる。また、コイル或いは他の結合手段を取り囲むように配置された高周波反射器によって、高周波エネルギーの放射をチャンパー内に集中する。

【0021】磁気の増強は周辺の永久磁石或いは電磁石構成によって与えられ、これらは均一な発散する磁気ミラー構成から選択されたアンテナの軸に平行な制御された静磁界を加え、基板の下方のプラズマの位置と移動を制御する。また、磁石をプラズマ源及び／又はチャンパーの周囲に取りつけて基板の近傍でチャンパーに多極カスプ磁界を加えて、これによってプラズマを基板領域に閉じ込めると同時に基板の磁界を大幅に排除することができる。更に、磁気分路を基板と基板支持電極の周囲に配置して、基板支持電極からの磁界の方向転換することができる。

【0022】このシステム構成は、動作周波数を選択することによって、低モード動作を維持しながらその大きさを拡大・縮小することを可能にする。処理上の側面として、本発明は、プラズマ源領域と処理領域を有する真空チャンパーを提供し、チャンパー内の電極上にある処理される物品または基板を支持し、基板支持電極にあるプラズマシース電圧を制御するために、RFエネルギーをチャンパーに電磁結合し、支持電極にあるシース電圧を制御するために、支持電極を介してRFエネルギーをチャンパーに容量性結合し、且つプラズマに接するシリコンイオン源を提供するプラズマ発生処理に具体化される。

【0023】また、本発明は、共振に対するアンテナの自動的反復的同調とその入力インピーダンスのアンテナに対するRFエネルギー供給源のインピーダンスへのローディングを含む。このプラズマ発生処理は、プラズマ源領域と処理領域及び壁、処理領域中の電極とプラズマ源領域中の電極を有する真空チャンパーを提供し、処理領域電極がカソード、壁がアノード、そしてプラズマ源電極の電気的接続はアース、フローティング及びRF又はバイアスから選択されて、処理領域中の電極、チャンパーの壁及びプラズマ電極を電気的に接続し、基板支持電極上で処理されるべき物品を支持し、チャンパーに処理用のガスを供給し、RFエネルギーをアンテナへ与えるための手段に接続された円筒状コイルアンテナを用いて、物品上の1或いはそれ以上の材料を処理するためのプラズマを発生するアンテナによって、RFエネルギーをプラズマ源領域に誘導性結合し、且つ支持電極にお

るシース電圧を制御するために支持電極を介してRFエネルギーをチャンパーへ容量性結合し、及びチャンパー内のシリコン源を備えている処理方法である。

【0024】シリコン源はチャンパー内のプラズマ源に配置された第3の電極であるのが好ましい、必ずしも電極である必要はなく、プラズマに接するチャンパー内の何処かにあればよい。またアンテナ電力と電極に供給されるバイアス電力は異方性、半異方性及び等方性エッチングを選択的に行うように制御される。

【0025】本発明の処理チャンパーは第2の材料の層、特にシリコン等の酸素非含有基板上にある酸化物のような酸素含有層をエッチングするのに特に有用である。処理チャンパー内のシリコンイオン源の使用は改良された選択性とエッチング断面の増大をもたらす。更に、本発明の処理はバイアス電圧をシリコン上のエッチング抑制層、例えばポリマーを形成するための選ばれた低い値、及び基板に関して早い速度で第2の材料をエッチングするための高い値に周期的に駆動する方法を含む。全ての場合に、本発明の装置は、基板に向かって第2の層における高いアスペクト比開口を作ることを要求する高いエッチング速度と高い選択性を提供する。

【0026】本発明のリアクターにおける処理は、酸化シリコン又はシリケート等の酸化物のスパッタ蒸着、及び第1に酸化物を蒸着するために比較的低いRF電力を支持電極に印加し、第2にシリコン酸化物を蒸着し、そのシリコン酸化物をスパッタファセットし、且つ層を平面化するため支持電極に比較的高いレベルのRF電力を印加するという2つのステップを含む。

【0027】具体的な本方法は、酸素非含有基板上に形成された酸化物中のコンタクト孔のエッチングとアルミニウム或いは他の基板上に形成された酸化物中の孔を介したエッチングを含む酸化物エッチング；高速の等方性及び異方性酸化物エッチング；ゲート等のポリシリコン導体のエッチング、フォトリソの除去；中でも単結晶シリコンの異方性エッチング；異方性フォトリソエッチング；窒素と酸化窒素の低圧プラズマ蒸着；酸化物、オキシ窒化物及び窒化物の高圧等方性コンフォーマル蒸着；アルミニウム、タングステン及びチタン等の金属とタングステンシリサイド等の化合物及び合金のエッチング；及び種々の蒸着速度で、平面化を伴う局部的・全面的スパッタファセット蒸着を含む種々の材料の蒸着を含むが、これらに限定されることはない。

1. 概要

図1-図3は半導体基板5を加工するための、誘導プラズマ源装置、磁気増強したプラズマ源装置、容量性結合されたバイアス装置、及び本発明の他の側面を用いるプラズマ反応装置10の概略断面図である。この三つの図は、このシステムの好適な特徴とその他の特徴を示す。図面スペースの制約から三つの図面を用いる。この例示したチャンパーは一体型伝送線構造を有する同時継続中

の一部継続出願の願書に図示したものの変態様である。この発明の重要な特徴はプラズマ反応装置に広く適用することができる。更に、当該技術の通常の知識を有する者には、以下の説明から反応装置の性能を向上させるこの発明の様々な特徴は個別的に利用するのが可能であり、また選択的にシステムが省くこともできる。例えば、誘導プラズマ源装置と容量性結合されたバイアス源によって提供される加工条件によって磁気増強が不要になることが多い。

【0028】例示するシステム10は側壁12、頂壁13、底壁14を有する陽極処理したアルミニウムその他の適当な材料で形成した真空チャンパーハウジング11を含む。陽極処理したアルミニウムはアークとスパッタリングを抑制するため好適である。しかし、この加工に適したポリマー、石英、あるいはセラミックのライナーの付いた、或いはそれが付いていない裸のアルミニウム等の他の材料を用いることもできる。頂壁13は壁12-12の間に形成された下部チャンパー基板処理部16Bとドームによって形成された上部チャンパープラズマ源部16Aの間の中央開口部15を有する。このドームは好適には石英やその他のアルミニウムやアルファアルミナ（サファイア）等のいくつかの誘電体材料のような誘電体によって形成される反転した単一壁或いは二重壁のカップとして構成することができる。図1に示す実施例では、ドーム17は石英等の誘電体の円筒状の壁17Wと通常アルミニウム或いは陽極処理したアルミニウム製のカバー或いは頂壁17Tから成る。選択度の高い酸化エッチングといった目的のためにはシリコン、或いはシリコンを含有する頂壁手段及びシリコンで覆ったドームの側壁が好適である。

【0029】図1に示すように、チャンパーハウジング11（チャンパー16）の内部の減圧排気は、底壁14に接続された一つあるいはそれ以上の真空ポンプからなる真空ポンプシステム21につながった真空線19中の絞り弁18（流量と無関係に圧力を調整する）によって制御される。11節に説明するように、チャンパーの壁とドームを含むチャンパー構成要素は加工性能のために加熱及び／又は冷却することができる。たとえば、ドームは液体あるいはガスの伝熱媒体によって加熱あるいは冷却することができ、あるいは加熱要素を用いて直接ドームを加熱することができる。

【0030】2節に示した図2に図示するように、プロセスガス、パージガス、希釈剤その他は、プラズマ源（ドーム）の基部、プラズマ源の頂部プレート17T、および基板の周辺にそれぞれ配置された三つのマニホルド注入源G1、G2およびG3によってチャンパーに供給することができる。これらのガスはたとえば一つあるいはそれ以上の加圧ガス源からコンピュータ制御された流れ制御装置（図示せず）を介してチャンパー11に供給される。主吸気マニホルドG1においては、ガスは頂

壁13の内部に取り付けたあるいは頂壁13と一体の石英リングガスマニホルド51を介して、22に示すように内部真空加工チャンパー16に入る。マニホルド23は好適にはRFエネルギーの印加後にエッチングもしくは蒸着プラズマを発生させるためにチャンパー部16B、16Aに対してわずかに上向きの角度でエッチングガスもしくは蒸着ガスを供給する。ドーム17の頂部プレート17T中の頂部マニホルド装置G2は反応性ガスあるいはその他のガスをチャンパー16に取り入れるのに用いることができる。また、基板の周辺に反応性ガスおよびその他のガスを供給するマニホルド装置G3を設けることもできる。

【0031】RFエネルギーはRF供給および整合ネットワーク31によって給電される少なくとも1回巻のアンテナ30あるいはコイルからなるプレート源によってドームに供給される。アンテナ30は好適には複数回巻の円筒状構成を有する。コイル30はある一定の周波数およびプラズマ源（コイル）径に対する最小導体電気長を規定し、好適には動作周波数において $1/4$ 波長（ $< \lambda/4$ ）以下の電気長を有する。アンテナ30自体は共振器ではないが、ファラデーの誘導結合の法則によってプラズマ源との有効な誘導結合を行うために5節に説明するように共振に同調される。

【0032】好適には、チャンパープラズマ源部16Aからのガスの流れは基板5に向かって下向きに流れ、次に基板から径方向に外向きに引き出される。この目的のために、カソード伝送線構造32の周り、一方の側のチャンパー壁12と他方の側の外側伝送線導体320の間および底部のチャンパー底壁14と頂部の導電性ポンピングスクリーン29の間の環状の真空マニホルド33を形成することができる。マニホルドスクリーン29は真空マニホルド33と基板プロセスチャンパー16Bの間に介装され、チャンパー壁12と伝送線構造32の外側導体320の間に導電路を提供する。真空マニホルド33は基板5の周辺からの排出ガスの均一な径方向の引き出しを行うための環状のポンピングチャンネルを形成する。真空マニホルド33は排出ガスシステム線19に連通している。ガスの流れはマニホルドG1からの通路22に沿ってドーム／プラズマ源に、及び／又はマニホルドG2からの通路24及び／又はマニホルドG3からの通路26に沿って基板5に向かって径方向に内向きに流れる。全体的なガスの流れは通路34に沿って上部チャンパープラズマ源部16Aから基板5に、通路3に沿って基板からスクリーン29を通して排気マニホルド33、そして通路37に沿って排気マニホルド33から排気システム21に向かう。導電性マニホルドスクリーン29とカソード伝送線構造はオプションであることに注意しなければならない。通常、対象となる周波数の低い側では波長が非常に長く、したがって伝送線構造は不要である。

【0033】これは従来のRFシステムの構成とは対照的であり、RF電力は二つの電極、通常その上面が基板5を支持するウエハ支持電極32Cと反応装置チャンバーの側壁12、頂壁13及び／又はマニホルド23である第2の電極との間に印加される。とりわけ、アンテナ30はドーム17とプラズマチャンバー16Aの外側のそれらに隣接する位置に配置され、RF電磁(e_m)エネルギーをプラズマ源チャンバー16Aに結合してプロセスガスに電界を誘起するようになっている。ファラデーの誘導結合の法則から、e_mエネルギーの変化するB(磁気)成分はプロセスガスを付勢してチャンパー16内に比較的密度が高くエネルギーイオンが低いという特徴を有するプラズマを形成する(参照符号16はチャンパー16A、16Bおよびプラズマを集散的に指す)。このプラズマはドーム17中でコイルアンテナ30内に形成された小さな容積に集中されて発生する。イオン、電子、フリラジカルおよび励起中性物等を含む活性種が拡散とここに説明するガス流によるバルクフローによって基板に向かって下流に移動する。また、7節に説明するように、適当な磁界を用いて次に説明するように基板に向かうイオンや電子を抽出することができる。これはオプションであるが、プラズマ源42とバイアス整合ネットワーク43からなる図1のバイアスエネルギー入力装置41はRFエネルギーを基板支持電極32Cに結合して、基板のプラズマシース電圧を選択的に増大させそれによって基板のイオンエネルギーを選択的に増大させるのが好適である。

【0034】基本的には底部の開放した箱である反射器44はアンテナをその頂部と側面部において囲んでいるが、アンテナ30の底部は囲まない。この反射器44はRFエネルギーの自由空間への放射を防止し、それによってプラズマ中の電力の放射や散逸を集中して効率を高めている。7節に詳細に説明するように、図3のファラデーシールド45はアンテナ30の内部、上および下に配置することができ、磁界がプラズマに結合するのを可能にするが直接電界結合を不能にしている。直接電界結合はプラズマに傾斜や不均一を誘起する恐れがあり、あるいは荷電粒子を高エネルギーに加速する恐れがある。

【0035】8節に説明するように、基板5におけるプラズマ密度の向上、基板へのイオンの搬送、あるいはプラズマの均一性の向上のために、オプションとして図2の一つあるいはそれ以上の電磁石47-47、あるいは永久磁石をチャンパーの囲い11に近接して取り付けることができる。4節に詳細に説明するように、この発明には通常マイクロ波あるいはマイクロ波ECR周波数よりはるかに低い周波数の誘導結合された電磁エネルギーの磁力成分を用いて、潜在的に損傷を与える恐れのある高出力RFエネルギーを基板5に結合することなく高密度かつ比較的低エネルギーという特徴を持つプラズマを生成するために真空チャンパー内に円形の電界を誘起す

る。図示する好適な下流プラズマ源構成では、RFエネルギーは基板から離れて高プラズマ密度で完全に吸収され、波が基板に伝搬せずしたがって損傷の可能性を最小限にするようにしている。選択的及び任意的に、RFバイアスエネルギーは必要に応じて基板シース電圧、したがってイオンエネルギーを増大させるために基板支持電極32Cに印加される。

【0036】チャンパー16は総チャンパー圧約0.1ミリトルから約50トル、通常エッチングには0.1ミリトルから200ミリトルを用いて、蒸着及び／又はエッチングによって半導体ウエハを含む基板を処理することができる。このチャンパーは5ミリトルより低い圧力で動作することができ、実際に2ミリトルで正常に動作した。しかし、ある種の加工には、ポンピング速度と流量が増大するという点で高い圧力が好適である。たとえば、酸化物エッチングには約5ミリトルから約50ミリトルの圧力範囲が好適である。このような比較的高い圧力では、プラズマ源と基板の間隔を小さくしなければならない。この発明のチャンパーは基板5とアンテナ30の最下部の巻の間隔と約5cm/2in.と非常に適切な小さい間隔dにしたとき、敏感な装置に対するチャージャップ損傷を生じることなく良好に動作した。したがって、このような非常に小さい間隔にすることの利点、すなわちエッチング速度と選択度の向上、ある一定のエッチング速度に対するバイアス電圧およびイオンエネルギー条件の低減、および基板上のエネルギーの均一性の向上が達成される。たとえば、基板5とソースアンテナ30の間隔dを10cm/in. (これ自体小さい間隔である) から5cm/2in.に縮小すると、必要電圧は半分になり均一性は約2.5%から約1%に上がった。

2. ガス処理システム

前述したように、このチャンパーには反応性ガス、パージガス、その他を異なる場所に注入してそれぞれの加工(エッチング、蒸着その他)の条件とその加工に用いられる材料に応じて加工を向上させるための複数のガス注入源G1、G2、G3(図2)が内蔵されている。まず、チャンパーはプラズマ源領域16Bの基部/底部の周囲に標準の径方向ガス分配システムG1を有する。好適な構成では、G1注入システムはプラズマ源の底部の石英ガス分配リング51とこのリングにガスを供給する分配チャンネルを形成する周辺環状マニホルド52からなる。このリングは内側を向いた径方向の穴53-53を有し、好適には中空陰極放電を防止するため前記の穴に挿入される階段状の焼結セラミック多孔性ガス拡散プラグ54-54を有する。

【0037】第2のガス注入装置G2は多孔性セラミック拡散ディスク57を詰めた中央吸気穴56を有する陽極処理したアルミニウム等の材料でできた接地された、あるいは浮動する、あるいはバイアスされたドーム頂部プレート17Tからなる。第3のガス注入源G3は基板

5の周辺に取り付けたリング状吸気マニホールド58（あるいは基板を支持受台に保持するのに用いられるクランプリング（図示せず）に内蔵されたガス取入口）からなる。

【0038】単結晶やポリシリコンを含む酸素非含有層の表面にわたって二酸化シリコン等の酸素含有層を通して開口をエッチングする場合に、望ましくは二酸化シリコンはポリシリコンや他の基板より非常に早い速度でエッチングされる。フッ化物を含むエッチングガスはエッチャントとして用いられる。しかし、フッ化物のエッチャントは通常二酸化シリコンとポリシリコン等の材料を、例えば同じ速度でエッチングするので、そのエッチングはシリコンよりむしろ酸化物に対して殆ど選択度がない。しかしながら、反応性イオンエッチング中に、ポリマーの保護層が成長する開口の側壁と底部に形成される。このようなポリマーは炭素とフッ素から形成され、一般的には約30%の炭素と約60%のフッ素を含んでいる。

【0039】このポリマーは、フッ素原子の存在下で分離される。必要なことは約50%以上の炭素と約40%以下のフッ素を含む炭素の含有量の多いポリマーを形成することである。もしフッ化物イオン用のスカベンジャが反応装置の中に配置されるなら、自由なフッ化物イオンはプラズマ中には殆ど存在しないし、C-F結合はポリマー膜に形成さないであろう、ということを見出した。従来の反応装置における成功は、プラズマ中に自由なシリコンを与えるためにフッ化物イオン用のスカベンジャをプラズマ自身、例えばシランやオルガノシランに加えることによって得られていた。しかしながら、多くの異なったプラズマイオンが形成されるので、そのプロセスは本質的に“ダーティー”であり、エッチャントとポリマーの性質は異なっており、また不均一であって、そのプロセスは全く再現性がない。従って、自由なフッ化物イオンを取り除くために“きれいな”シリコン源を提供する本装置は優れている。

【0040】本発明によれば、このようなフッ化物イオン・スカベンジャは、フッ化物に対する反応物質である。そしてそれはプラズマの中或いはその近くにあるシリコン源であることが望ましい。フッ物スカベンジャは単結晶シリコンのような純粋なシリコン、ポリシリコン或いはシリコンカーバイド等であり、或いは第3の電極がシリコン又はシリコンを含む材料からできているのが好ましい。また、グラファイトはフッ化物イオンを取り除くために用いることができる。例えば、第3の電極がグラファイトから作られる。

【0041】本発明のチャンバーにおけるプラズマエッチング中に、酸化シリコン膜にある酸素は成長するトレンチの側壁と底部に形成されるポリマーを容易にエッチングする。しかしながら、トレンチの深さがポリシリコンや他の酸素非含有基板に達すると、酸素は存在せず、

またポリマーはポリシリコン表面に残り、基板を更にエッチングしないように保護する。

【0042】ここでの好ましいエッチャントは CF_4 、 C_2F_6 及び C_3F_8 等のフッ化炭素であり、それらは炭素イオンとフッ化物イオンのみを発生する。他の公知のフッ化物、例えば CHF_3 は好ましくない。何故ならば、それらは炭素とフッ素のイオンに加えて水素イオンを発生するからである。本発明によれば、酸素含有層と酸素非含有基板或いは下部層間の非常に高い選択度が、殆ど無限に得られる。何故ならば、炭素を豊富に含むポリマーはシリコン表面或いは酸化物非含有基板や酸素のない層の上に分解しないからである。これらのポリマーは酸素に敏感であり、また酸素がないと、例えばエッチャントが酸素非含有基板に達すると、ポリマーの分離は減少し、そして少なくなったフッ素イオンでプラズマに結合すると、層を不動化している比較的不活性のポリマーが形成され、下部層を保護する。

【0043】シリコン源はプラズマが発生される場所の近くに置かれるのが好ましく、その結果シリコンはフッ化物イオンを取り除くことができる。フッ化物イオンが処理される基板の表面と反応することは殆どない。例えば、シリコンメッシュがプラズマ領域に吊り下げられるか、或いはシリコンがRF電源の部分としてリアクターの壁或いは頂部の近くに配置される。またシリコン源は基板の表面近くに吊り下げられることもできるが、高いフッ化物含有量を有するポリマーが生じるかもしれない。

【0044】シリコン源は反応装置のプラズマ領域外に配置することも可能で、どの場合においても、フッ化物イオンを取り除くためにシリコンイオンを形成する温度、例えば少なくとも約150℃或いはそれより高い温度に加熱される。その場合、シリコン源の温度を調整する手段は反応チャンバーに設けられなければならない。本発明のリアクターが種々の膜を蒸着するために、蒸着チャンバーとして用いられるときには、他の利点がある。例えば、基板内にトレンチや開口が作られた後には、基板内のデバイスどうしの導通や分離を形成するために、そのトレンチや開口は他の材料で満たされる。例えば基板の開口はシランと酸素を用いる酸化シリコンで満たされる。これはトレンチの底部コーナー、或いはデポジットの中央において空隙が形成されるのを避けるために蒸着速度を注意深く制御する必要がある。この後者の現象はECR処理に関してはよく知られており、また取り扱われている。この問題を避けるために蒸着の前にアルゴンでトレンチの頂部をスパッタすること、即ちトレンチや開口の頂部をファセットティングすることは知られている。それによって、空隙の周りを塞ぐことなくトレンチの頂部を開けることができる。しかしながら、ECR処理は、高イオン密度を維持するために2-3ミリのオーダーの非常に低い圧力が用いられるので、不利である。ECRにおけるイオン密度は圧力に非常に依

存している。イオン密度は約1-2ミリトルで最大にされ、5-10ミリトルの圧力で急激に降下する。従って、大量のガスがECRに供給されなくてはならないし、大きな真空ポンプが過剰なガスを排気するために必要となる。

【0045】誘導性プラズマを形成している本発明の装置は約30ミリトルの圧力までの高いイオン密度を維持する。従って、非常に高い圧力、即ち約15-30ミリトルが本発明の誘導的に結合されたプラズマ中に維持され、また付随して、ガスはリアクターに殆ど供給される必要がない。そしてECRにおける蒸着に必要な1-2ミリトルの圧力操作以外の副産物や過剰ガスを除くために、小さな真空ポンプが必要とされる。

【0046】本発明の装置はECRにおいて得られるこれらのものと等価な、しかし簡単なそして費用のかからない方法で、結果を満たすトレンチを与える。低い圧力で発生したプラズマのイオン密度を調整する低い温度操作と能力のために、同様な方法が本発明の装置において大量のガス又は大きな真空ポンプを必要とせずに達成できる。従って、適当な量のシラン、酸素及びアルゴンの、例えば反応装置への導入はトレンチの頂部、側壁をスputaし、そして酸化シリコンでトレンチを満たすプラズマを形成する。酸化シリコンの堆積内に空隙を作ることが避けられ、そしてトレンチの頂部の形成とトレンチ内の蒸着またはトレンチ内に満たすことは単一処理工程でできる。

【0047】上に言及したように、エッチャントと蒸着種、不動態化種、希釈種等から選択される色々なタイプのガスが、特別なエッチングと蒸着処理と材料の要求を満足するためにG1-G3の一つ或いはそれ以上のソースを介してチャンパーに供給される。例えば、本誘導性プラズマ源アンテナ30が非常に高密度のプラズマを与え、チャンパーのドームプラズマ源領域16Aにおけるガスを分離するのに非常に有効である。結果として、ポリマー形成の種がG1或いはG2を介してドームに供給されると、高度に分離された種がポリシリコンの被覆を犠牲にしてドームの内部を被覆し得るし、及び/又は十分に分離されているので保護のために被覆されるべきポリシリコンの表面に付着しない。一つの解決策は CF_4 或いは CF_3 等のエッチング種をG1又はG2、或いはG1とG3を介してプラズマ源領域に挿入することであり、基板上に優先的に炭素を豊富に含有するポリマーを形成するために、フッ化物イオンを取り除くシリコンを与えることである。プラズマ源領域におけるガスの高い分離のために、フッ素を含むガス（フッ素を含むガス中にフッ素が炭素と共にあってもよい）シリコンと酸化シリコンをエッチングする自由なフッ化物イオンが典型的に生成する。従って、酸化物のためのエッチング選択度を減少する。プラズマ中のシリコン源を与えることに加えて、高い選択度が要求されると、シリコンを含む付加的なガ

スが、自由なフッ化物イオンを更に取り除くため、また酸素非含有基板のエッチングを減少するために挿入される。エッチングガスとシリコン含有付加ガスはG1とG2を介して別々に導入することができるし、或いはG1及び/又はG2を介して混合して導入することができる。適当なフッ素消費シリコン含有付加ガスはシラン(SiH_4)、TEOS、ディエチルシラン及び四フッ化シリコン(SiF_4)を含んでいる。

【0048】フッ素消費シリコン源ガスとポリマー付加ガスはエッチングの選択度を増進するために同じプロセスにおいて一緒に用いることができる。

3. 差動ポンピング

図2は代替の真空ポンピング構成を示す。チャンパーの底部、あるいはその近傍に接続される真空ポンピングシステム21に加えて、真空ポンプ39が線38を介してドーム17内のプラズマ源領域16Aに接続される。ポンピングシステム39および21の流量は、それらがプラズマ源領域16Bに垂直方向に圧力差 ΔP_p を発生させるように選択される。この圧力差 ΔP_p は(1)プラズマ源16Aから基板5への非荷電粒子の移動を防止し、また(2)バイアス電圧によって電子やイオンといった荷電粒子に加えられる力 F_e より小さい。 ΔP_p のために、ラジカルのような非荷電粒子は基板5に到着せず、むしろ主として頂部真空接続部38から流出する。 $F_e > \Delta P_p$ であることから荷電電子および荷電イオンは主として加工領域に流れる。この方法はイオンではなくラジカルを選択的に基板プロセス領域外に置きたいとき有効であることは明らかである。この状況はたとえば、(1)ポリマー形成ガスの化学作用を用いるが、ポリマーがプラズマ源領域で形成されチャンパーの側壁に付着する、及び/又は所望の基板面に良好に付着しない場合、もしくは(2)プラズマ源領域にフッ素基が形成される場合に起こる。

4. RF電力、上部およびバイアス源

1) 上部あるいはアンテナ源

図1において、好適には上部プラズマ源16AのRF電源31の動作周波数は密度の高いプラズマを発生して敏感な装置への損傷を最小限とし、RF電力のプラズマへの効率的な誘導結合を提供するように選択される。すなわち、この動作範囲の上の周波数は“電流によって誘起される”損傷を最小限にするように制限される。動作周波数の下限はプラズマへのRF電力結合の効率が上がるように選択される。示唆される限界は上述されている。

2) 下部あるいはバイアス源

基板支持カソード32Cの交流電源42はRF電力をプラズマに誘導結合して、それによって高周波電力によって行われるプラズマ密度制御から独立して制御されるカソードシース電圧およびイオンエネルギー等を含むさまざまな要素の制御を行う。バイアス周波数は多くの目的を達成するように選択される。まず、周波数の上限は敏

感な装置への電流によって誘起されるチャージアップ損傷を防止するように選択される。低い周波数が部分的には電圧によって誘起される損傷を排除するために選択される。また周波数バイアスが低ければ、基板の単位バイアス電圧あたりの基板シース電圧（加熱を除く）は高くなり、プラズマ密度への貢献は少なく、したがってイオン密度とイオンエネルギーの独立的制御が向上する。しかし、バイアス周波数が低すぎると、イオンが基板シース電界のRF成分に追従し、それによってイオンエネルギーが変調される。その結果、ピーク／平均エネルギー比が高くなり、また（ピーク間）イオンエネルギー分布が広がる。バイアス周波数が非常に低いと、絶縁チャージアップが発生し、バイアス周波数制御の一部においてイオンによって誘起される処理を不能にする。

【0049】本出願人は以上の考察が以上記載されたプラズマ源周波数範囲に対応するバイアス周波数範囲を用いることによって満足されることを発見した。

3) 上部アンテナ源とバイアス源の連結動作

本発明の好適な特徴は電源42によって供給される下部あるいはバイアス電力を自動的に変更して一定のカソードシース電圧を維持することである。非対象性の高いシステムにおいては低圧（＜500ミリトル）では、カソード32Cで測定される直流バイアスはカソードシース電圧の近似値である。下部電力は一定の直流バイアスを維持するために自動的に変更することができる。下部あるいはバイアス電力のプラズマ密度とイオン流密度に対する影響は非常に小さい。上部あるいはアンテナ電力はプラズマ密度と電流密度に非常に大きく影響するが、カソードシース電圧に対する影響は非常に小さい。したがって、プラズマ密度とイオン流密度を規定するには上部電力を用い、カソードシース電圧を規定するには下部電力を用いるのが望ましい。

【0050】それにもかかわらずアンテナ30を駆動する電源31の高周波はマイクロ波あるいはマイクロ波ECRアプリケーションに用いられる周波数よりはるかに低い。より安価な電源によってより低いDC電流で作動されるオプションのより小さい磁石を用いることもできる。この場合関連する熱負荷も小さくなる。さらに、以上の説明から明らかなように、導波管の代わりに31C等の同軸ケーブルを用いることができる。さらに、他の磁気増強されたあるいは磁気補助されたシステム中のE×B電子ドリフトによって引き起こされたプラズマの不均一はここには存在しない。これは、印加される磁界（アンテナ30を介して引火されるRFフィールドの磁気成分と磁石81によって印加される任意の静磁界の両方）はカソードの電界とほぼ平行である。したがってこのシステムにはE×Bドリフトはない。

【0051】透磁率の高い材料で形成した磁気分路を用いてプラズマ源（上部チャンバー16A）にBフィールドを発生させ基板には発生させない。またオプションと

して、永久磁石あるいは電磁石を、下部チャンバー16Bの周囲の通常N-S-N-S…N-Sという交互の磁極構成の多極配列に置いてプラズマ源及び／又はチャンパー壁に多カスプ磁気ミラーを生成することができる。磁石は垂直の棒磁石あるいは好適にはたとえば水平なリング磁石とすることができる。かかる磁石は壁への電子損失を低減し、それによって基板を磁界にさらすことなくプラズマ密度とプラズマの均一性を向上させるのに用いることができる。

4) RF電源の結合と同期

上述したように、上部あるいはアンテナRF電源の動作の好適な周波数と下部あるいはバイアスRF電源の動作の好適な周波数は好都合なことに同じ範囲に入っている。ここで選択することのできる構成として、これらの二つのRF電源を別々に使用する代わりに一つの電源に結合する方法がある。より一般的に言えば、三つのRF信号（第3あるいは上部電極へのRFバイアスを含む）のすべてを一つの電源から供給する、あるいはアンテナと下部バイアスに一つの電源を用い、第3電極に第2の電源を用いる、あるいは三つの別々の電源を用いるといった可能性がある。別々の電源が用いられる場合、考慮しなければならないことは別々のRF信号の周波数は等しくなければならないか、等しくなければならないとすればこれらの信号をなんらかの所望の位相関係にロックしなければならないかどうかということである。予備的な研究からこれらの質問に対する答は主に選択された動作周波数によることがわかっている。二つあるいは三つのRF電源に対して一つの周波数を選択できる場合、またその周波数がこのシステムが用いられる別の加工について変更される可能性がない場合、単一のRF電源が論理的選択ということになる。

【0052】しかしながら、上のサブパラグラフ1-3に論じた考察に基づいて、これらのプラズマ源に対して異なる周波数が必要である場合、あるいは異なるプロセスに用いるために周波数を変更しなければならない場合、別々のRF電源が必要になる。別々の電源源があり、同じ周波数が選択される場合、数100KHz以下のような比較的低い周波数を除いて、位相同期はおそらく問題ではない。例えば、電源はアンテナへのRF電圧入力と下部あるいは基板電極へのRF電圧入力の間の位相角はプロセスの繰り返し精度を最適化するために選択された一定の値に維持される。高い周波数では、動作は位相あるいは周波数の同期とは無関係と見られる。

5. アンテナの同調と負荷

1) 同調

通常、アンテナ30は（1）発振器31の周波数をアンテナと共振するように変化させることによって、あるいは（2）共振に同調するためにアンテナに接続された別の共振素子によって共振に同調される。たとえば、この同調素子は可変のインダクタンスアース、あるいは可

変のキャパシタンスアースとすることができる。

【0053】誘導同調および容量性同調は共振周波数を低下させることに注意しなければならない。したがってこのシステムを望ましい最も高い共振周波数となるように構成してキャパシタンスあるいはインダクタンス同調変数を用いる際に共振周波数の低下に対処するようにすることが望ましい。自動同調は好適であり、インピーダンス位相／振幅検出器を用いて同調／負荷変数を駆動することによって実行することができる。図6と9節を参照。また、反射電力ブリッジあるいはVSWRブリッジを用いて同調変数と負荷変数の両方を駆動することができるが、反復が必要である。

2) ローディング

導電性、容量性、あるいは誘導性負荷手段Lを用いてプラズマ源アンテナ30をRF発振器31と接続用同軸ケーブル31Cのインピーダンスに一致させることができる。たとえば、タップあるいはワイパを50オームあるいは300オーム近辺あるいはアンテナ上の他の発振器出力インピーダンス位置にオーミックに接触させることができる。また、可変インダクタンスあるいは可変キャパシタンスをアンテナ上の発振器出力インピーダンス点50に接続することもできる。

3) 同調回路と負荷回路

図4および図9において、好適にはプラズマ源アンテナ30と一体でプラズマ源を共振に同期させる同調手段Tが設けられる。また、一体化負荷手段Lがプラズマ源アンテナ30の入力インピーダンスを関連の発振器31

(あるいは伝送線31C)の出力インピーダンスに一致させるために用いられる。図4において、ある側面においては、同調手段Tはアンテナ30の一端とRFアースの間に電気的に接続された可変キャパシタンスである。

【0054】図5に示すように、また別の側面においては、負荷手段Lはアンテナの一端とRFアースの間に電気的に接続された可変キャパシタンスとすることができる。また、この負荷手段はアンテナにRF入力電力を加える可変位置タップ60とすることができる。図6を参照されたい。図7に示す好適な組合せにおいて、同調手段Tはアンテナ30の一端とRFアースの間に電気的に接続された可変キャパシタンスであり、負荷手段Lはアンテナの他端とRFアースの間に電気的に接続された別の可変キャパシタンスである。この構成では、RF入力電力はタップを介して、すなわちアンテナに沿ってあるいはそのいずれかの端部に設けられたタップを介してアンテナに印加することができる。図8を参照されたい。また、RF電力入力接続部66を図9に示すように負荷可変キャパシタンスLとアンテナ30の端部の接続部に配置することができる。

6. ソース／バイアスプロセス制御

また、本発明は十分に高いバイアス電圧を用いて高い二酸化シリコンエッチング速度を提供し、バイアス電圧を

低い値に周期的にパルス化することによって、二酸化シリコン等の材料のエッチング速度が上がり、シリコン等の材料と比較して二酸化シリコンのエッチング選択度が増すという発見を含んでいる。

1) パルス／変調バイアスエッチング速度と選択度の向上

図10において、通常二酸化シリコンSiO₂等の材料のエッチング速度は、バイアス電圧が上がるにつれて増大する。したがって、バイアス電圧を上げれば酸化物のエッチング速度が上がる。しかし、残念ながらシリコン／ポリシリコン等の集積回路構造中の関連する材料のエッチング速度もまたバイアス電圧につれて上がる。したがって、非常に高い二酸化シリコンのエッチング速度を提供する十分な大きさのバイアス電圧を用いると、シリコンのエッチング速度は(酸化物エッチング速度よりいくぶん低い)が高すぎる値になり、選択度が低下する。二酸化シリコンをエッチングする際には、高いDCバイアス電圧V_hの特徴である高い酸化物エッチング速度と低いDCバイアス電圧V_lの特徴である比較的低いシリコンのエッチング速度の組合せ、したがって高い酸化物選択度を得ることが非常に望ましいことはきわめて明白である。

【0055】ここで図11のDCバイアス電圧波形70を参照すると、V_hとV_lの特性を組み合わせるという前のパラグラフで示した一見矛盾する目的は実際には高ベースラインDCバイアス電圧V_hを用い、この電圧を低い値V_lに周期的にパルス化あるいは変調することによってポリマー形成エッチング処理(シリコン等の材料の上にエッチング抑制ポリマーを形成する処理)において達成される。V_lはけい素エッチングとシリコン蒸着の間の交差点／電圧68(図10)以下であり、酸化物交差点／電圧69以上である。その結果、保護ポリマーがシリコン上に蒸着され高速エッチング電圧V_hに復帰する間エッチングを抑制するが、V_hでの酸化物のエッチングをに重大な抑制を加えるような蒸着は酸化物上に発生しないか、発生しても不十分である。好適には、V_lはポリシリコン上の蒸着を特徴とするが、少なくとも酸化物のわずかなエッチングである。この発明の一実施例においては、パラメータV_h(高いDCバイアス電圧)、V_l(低いDCバイアス電圧)、P_h(低電圧V_lのパルス幅)、およびP_h(低電圧パルスと高電圧パルスのパルス繰返し率あるいは結合された幅)の値はそれぞれ-400V、-225V、約0.1秒、および約1秒である。

2) 2周波数バイアス

代替の方法を図12のDCバイアス電圧波形71によって示す。比較的低い周波数電圧変動が基本バイアス電圧周波数に重畳される。たとえば、低い周波数T₁<25 KHz(好適には5-10 KHz)をベース高周波T₂<2 MHzに重畳あるいは混合される。酸化シリコンは

絶縁体である。シリコン／ポリシリコンは通常非常に薄い固有酸化物層しか持っていない。したがって、低周波数 T_1 のDCバイアス電圧変動は酸化物表面には見られない。なぜなら、これは帯電しているためである。しかし、基本的に絶縁されていないポリシリコンは低い周波数 T_1 サイクルの低電圧のエクスカーション T_2

(V_1)中に保護層を形成することによって前述したものと同様の態様で低周波数 T_1 に反応する。この低周波数で形成した層は高い周波数 T_1 サイクルの変動する高電圧エクスカーション T_3 中、エッチングを不能とする。前述したように、二酸化シリコンの絶縁性によって T_2 の低電圧エクスカーション中、エッチング抑制蒸着を不能とし、酸化物エッチングが T_1 サイクルの高電圧部分の期間に抑制されることなく進行する。

【0056】つまり、低周波数サイクル T_2 の低電圧エクスカーション T_2 中にシリコン上に保護層が形成され、蒸着を抑制することなく酸化物を急速にエッチングする高周波数サイクル T_1 の高電圧エクスカーション T_3 中のけい素エッチングを抑制する。その結果、上述したパルス／変調による方法の場合と同様に、酸化シリコンの早いエッチング速度、シリコンの比較的低いエッチング速度および酸化物に対する高いエッチング選択度が得られる。パルス／変調法は現在2周波数バイアス法により好適であることに注意しなければならない。これは前者が精密な制御を行うことができるためである。

7. ファラデーシールド

入力端に負荷コンデンサL、他端に同調コンデンサT、また入力端に比較的低い電圧、他端にそれよりはるかに高い電圧を有する典型的なアンテナ30のコイル構成について考察する。グラウンドに近いコイルの最下部の巻線は低電圧RF入力に接続されている。通常、プラズマはガスの分解を静電的に開始することによってプラズマを開始する同調端に近い比較的高電圧の巻線の静電界にさらされる。分解の開始に続いて、プラズマへの結合は主として電磁的すなわち誘導的なものになる。このような動作は周知である。定常状態の条件下では、通常、静電結合と電磁誘導結合の両方が存在する。電磁結合の方が優勢であるが、加工の種類によっては静電界に敏感なものもある。たとえば、ポリシリコンのエッチングには酸化物のエッチングを防止するために低エネルギー粒子と低エネルギー衝撃が必要である。

【0057】図1および図15について説明すると、定常状態の静電界を減少させるには、この発明のチャンバーにはオプションとしてファラデーシールド45を内蔵することもできる。図15(A)に示す実施例における構造は、ドーム壁17Wとアンテナ30を取り囲む接地された間隔を置いた軸方向に伸長するポストあるいはバーその他の円筒状の配列からなる、“単一”ファラデーシールド45Sと呼ばれるものである。この単一シールドは大きな間隔をおいた構成からシールドの各部分の間

の間隔が非常に小さい構成までさまざまな態様とすることができる。

【0058】図15(B)はその一方のバーが他方の間隔に重なるように間隔をおいた一対の同心のシールドからなるいわゆる“全”ファラデーシールド45Fを示す。これは、シールドを通る電界線の視線路を排除し、それによって静電界を分路する。ファラデーシールド45Sおよび45Fにはさまざまな構成が可能であるが、現在好適な構成は、図1に垂直断面図で示す外向きのフランジの付いた導電性の端部の開放した円筒状の構成である。単一壁あるいは二重壁の開口を設けたフィールド面46、47、48がアンテナの頂部、内面(ソース)および底面の周りに伸長し、グラウンド側49(ここは開放していなくてもよい)がアンテナの外側に位置する。この構成によれば、アンテナ30からの電磁波の軸方向の磁気成分がプラズマ16を生成するアンテナ30の平面に平行な閉ループ電界を誘起することを可能にする。しかし、シールド45はグラウンドへの直接電界成分を容量的に分路し、高周波電磁エネルギーの直接電界成分がプラズマに結合するのを防止する。シールド45を用いると、アンテナ30に沿って変動する電圧が容量性変位電流結合のマックスウェル方程式にしたがってプラズマに結合する。これによってプラズマ密度と基板5のエネルギーに不均一性と勾配が誘起され、加工の不均一性や高エネルギー荷電粒子が発生する可能性がある。積分形式で表したファラデーの法則によれば面を通る変化する磁界によってその面に閉じた電界が発生しなければならない。この現象を微分形式で表すマックスウェル方程式は誘起された電界の回転は磁界の変化の負の時間率に比例することを示している。正弦励起の場合、誘起されたEは変化するBフィールドの放射周波数およびそのピーク振幅に比例する。

【0059】つまり、不連続あるいはスリットの入ったあるいは分割されたファラデーシールドはコイルからの変化する電磁界に対するシールドの短絡効果を最小限にし、うず電流損失を低減し、高周波の軸方向の磁界のプラズマへの結合を可能にし、プラズマを生成する閉ループ電界を誘起するが、この電界(これはアンテナ上で変化する)のプラズマへの直接結合を不能にし、それによってプラズマの不均一性や高エネルギー荷電粒子に対する処理の不均一性といった損失を排除する。

8. 磁界の制限と増強

1) 制限

円筒／ドームプラズマ源の壁17Wにおける損失(プラズマ密度の低下)を低減するために、周辺の環状(浅い)磁界を発生する磁気装置が設けられている。図13の水平断面図に示す好適な構成では、この磁界は軸方向の永久磁石あるいは電磁石76-76を近接して配置した“パケツ”あるいは円筒状の多極配列によって提供され、磁石はそれぞれがその短尺方向に着磁されて閉じた

交番磁極の周辺-N-S-N-S-磁界Bを形成する。この多極配列はドーム壁に多カスプ磁気ミラー77を生成する。また、この配列は水平なリング磁石とすることもできる。かかる磁石は壁17Wの電子損失を低減し、基板を磁界にさらすことなくプラズマの密度と均一性を向上させる。

【0060】また同様に、永久磁石あるいは電磁石を下部チャンバー16Aの周囲に、通常はN-S-N-S…N-Sの交番する構成の多極配列に配置して、チャンパー壁に多カスプ磁気ミラーを発生させることもできる。これらの磁石は垂直方向の棒磁石とすることができ、また好適にはたとえば水平なリング磁石とすることができる。かかる磁石は壁の電子損失の低減に用いることができ、それによって基板を磁界にさらすことなくプラズマの密度と均一性が向上する。さらに、磁石の放射状の配列を円筒状プラズマ源のドームの頂部あるいは頂部プレート17T上に取り付けて頂部での損失を低減することもできる。

【0061】図3について説明すると、基板加工領域16B中のプラズマは、ほぼ平面状をなす磁石の格子をプラズマ源領域の底部と加工領域の頂部に配置することによって、発生あるいはプラズマ源領域16A中のプラズマから減結合することができる。この磁気格子は、上述したバケツ構成と同様に近接したほぼ平行な磁気バー78-78からなり、その短尺方向にNS着磁されて磁力線が一つのバーから出て次のバーで終了する平面構成の-N-S-N-S-N-S-磁界を提供する。その結果得られるプラズマ源の開口部15にかかるほぼ平面状の磁気フィルター79が磁界をこの平面とプレートの領域に制限し、プラズマ源にも基板領域にも侵入しない。

【0062】 $F=qV \times B$ の関係から、プラズマ源の高エネルギー/高速電子はこの磁界79によってイオンよりも高い程度で曲げられ、あるいははね返され、基板プロセス領域に貫入することができない。これによってプロセス領域16B中の高エネルギー電子の密度が低下し、同領域のプラズマ密度が低下する。プロセス領域とプラズマ源領域は減結合される。

【0063】このフィルターによる磁気制限法は小型システムのプラズマ領域を減結合するのに特に有効である。すなわち、たとえば基板上のイオン密度を高くすることなく高い基密度を提供し、同時にコンパクトさを維持する。ある好適な構成では、フィルター磁気制限は空気冷却用の中空のバーと細長い磁石を有する機械仕上げのアルミニウム板を用いて実施される。

【0064】バケツ磁気制限構成とフィルター磁気制限構成を一緒に用いることもできる。

2) 増強

上述したように、図3に示す一つあるいはそれ以上の(好適には少なくとも二つ)永久磁石あるいは電磁石81-81を用いてアンテナコイルの水平面と高周波RF

放射アンテナによって誘起される電界の両方に対して直角をなし、またそれらを通るほぼ軸方向の静電界を形成することができる。好適にはつぎに説明するように、三種類の磁界、すなわち均一磁界、発散磁界あるいは磁気ミラーのうちの一つが用いられる。

【0065】図14(A)について説明すると、磁石81-81によって基板5に直角に加えられる同質の軸方向の均一な磁界82は電子の運動を壁に制限する。イオンが高周波磁界変動に追従できないため、イオンは電子の不足にしたがって基板上のプラズマ中に集まる。最大限の効率を得るには、この磁界あるいは他の静磁界を高周波電磁界で共振に同調することができる。 $\Omega = 2\pi F = Be/m$ 、ここでBは磁束密度であり、eとmはそれぞれ電子の電荷と質量である。

【0066】軸方向の発散磁界83の概略を図14

(B)に示す。磁気モーメントの保存により、磁界の軸勾配が円並進エネルギーを軸並進エネルギーに変換し、電子とイオンを強い磁気領域からより弱い磁気領域に駆動しようとする。発散磁界は電子とイオンをプラズマ発生領域から押し出しプラズマを基板に集中させるのに用いることができる。

【0067】図14(C)と図14(D)について説明すると、ふくらし磁界あるいは助成磁界84(図15(C))とカスプ状あるいは対向磁界85(図15(D))を示している。これらのいわゆる“磁気ミラー”磁界のそれぞれの効果は軸方向発散磁界の効果と同様である。荷電粒子が比較的強い磁気領域から比較的弱い中央の領域に駆動される。

【0068】磁石を選択的に配置し、また単一あるいは複数の磁石によって提供される磁界の強さを選択および変化させることによって、関連する均一な発散磁界あるいは磁気ミラー磁界を制御された態様とし、基板のプラズマ密度を増大させる。磁気ミラー磁界の場合、最大のプラズマ密度増強を得るための好適な基板位置は張り出しあるいはカスプ上あるいはそれに密接する位置であり、これによって最大限のプラズマ密度増強が得られる。

【0069】アンテナのボリウムに軸方向の磁界を用いてプラズマの生成を向上させたいが基板上では磁界を排除したいという場合がある。(軟鉄用のニッケルあるいは鋼鉄等の)の高透磁性材料でできた環状のディスクを磁石とアンテナの平面の下基板5の上に介装することができる。

3. 抽出

適当な磁界を用いてイオンと電子を基板方向に抽出することができる。

9. 制御システム

以下の定義は図16に示す制御システムについて用いる。

【0070】

Psp 電力設定点
 Pf 正方向電力（電源に配置した方向性結合器によって測定）
 Pr 反射電力（電源に配置した方向性結合器によって測定）
 $|Z|$ インピーダンスの大きさ
 $\angle\phi$ インピーダンスの位相
 Tsp 同調設定点
 Lsp 負荷設定点
 Tfb 同調フィードバック（測定値）
 Lfb 負荷フィードバック（測定値）

図16は電源を含む各種の構成要素を制御するための代表的なシステムのブロック図である。ここで、システムコントローラ86はアンテナ電源31、インピーダンスブリッジ87、アンテナ30、バイアス電源31、インピーダンスブリッジ88、整合ネットワーク43、およびカソード32とインターフェースされている。イオン束密度とイオンエネルギーに対して選択された処理パラメータ、アンテナ電力および直流バイアスがコントローラ86への入力として供給される。また、コントローラ86はガス流、チャンパー圧力、電極あるいは基板の温度、チャンパーの温度、その他のパラメータを制御する。コントローラ86はアンテナ30に接続された T_{sp1} ラインおよび L_{sp1} ライン上に信号を発することによって初期の同調1および負荷1の条件を設定することができる。また、コントローラは整合ネットワーク43に接続された T_{sp2} ラインおよび L_{sp2} ライン上に信号を発することによって初期の同調₂および負荷₂の条件を設定することができる。通常、これらの条件はプラズマの開始（ガスの降伏）を最適化するように選択される。電力はまずアンテナ30あるいはカソード32のいずれかまたはその両者に同時に印加することができる。コントローラ86はアンテナ電源31への P_{sp1} ラインとバイアス電源42への P_{sp2} ライン上に同時にあるいは順次（順次はどちらが先でもよい）電力設定点を発する。

【0071】電子なだれ降伏がガス中で急激に発生し、プラズマが生成される。コントローラ86はアンテナ30との間の正方向電力（ P_{f1} ）および反射電力（ P_{r1} ）を監視し、またカソード32との間の正方向電力（ P_{f2} ）および反射電力（ P_{r2} ）を監視する。DCバイアス（カソードーアノードDC電圧）もまたコントローラ86に示すように監視される。コントローラ86は（a）正方向電力 P_{f1} および反射電力 P_{r1} あるいは（b）インピーダンスの大きさ $|Z_1|$ とインピーダンスの位相 $\angle\phi_1$ のいずれかに基づいてライン T_{sp1} および L_{sp1} 上に設定点を発することによってコイル同調₁および負荷₁のパラメータを調整する。ブリッジ87はコントローラ86にインピーダンスの大きさと位相角の情報を与える。アンテナ30は反射電力 P_{r1} がほぼゼロであるとき、またインピーダンス（大きさと位相 $|Z_1| < \phi_1$ ）がコイル電

源出力インピーダンスの複素共役であるときマッチングしている。（ゼロ反射電力条件と共役インピーダンス条件は同時に発生する。したがって、反射電力が最小化されるか、インピーダンスが整合するかのいずれかであり、その結果は同じになる。あるいは、VSWR（電圧定在波比）あるいは反射係数が最小になる。）コントローラ86は（a）正方向電力 P_{f2} および反射電力 P_{r2} あるいは（b）インピーダンスの大きさ $|Z_2|$ とインピーダンスの位相 $\angle\phi_2$ のいずれかに基づいてライン T_{sp2} および L_{sp2} 上に設定点を発することによってカソード32と整合ネットワーク同調₂および負荷₂のパラメータを調整する。ブリッジ88はコントローラ86にインピーダンスの大きさ $|Z_2|$ と位相 $\angle\phi_2$ の情報を与える。アンテナのマッチングと同様に、反射電力 P_{r2} がほぼゼロであるとき、またインピーダンス（大きさと位相 $|Z_2| < \phi_2$ ）がバイアス電源504出力インピーダンスの複素共役であるときマッチングが起こる。直流バイアスはコントローラ86によって監視される。コントローラ86はバイアス電源の出力電力を変化させて所望の測定DCバイアスを得る。コントローラ86は直流バイアスの所望の値からDCバイアスの測定値を減算する。その差が負である場合、バイアス電源42の出力が上げられる。その差が正である場合、バイアス電源の出力が下げられる（バイアス電源の出力が高いほど直流バイアスは負の方向に大きくなる。）この方法によれば、比例制御、比例積分制御、あるいは比例積分微分制御あるいはその他の制御を用いることができる。

【0072】また、バイアス電源42の出力を調整して一定の直流バイアスを維持するこの実施例に替わって、定バイアス電源出力を用いることもできる。上述した直流バイアスサーボマッチング技術に加えて、ピークピークRF電圧へのサーボによっても自動同調を行うことができる。この後者の方法はたとえば計器の駆動用の電流を提供するのにカソードとアノードに十分な導電面積を必要とするある種のエッチング処理においては有効であることがある。ポリマーコーティング技術を用いるとこれらの導電領域が不動態化され、電流によって計器が飽和することを防止して有効な読みが得られる。それと対照的に、ピークピークRF電圧の方法は特に好適な周波数範囲に関連する低周波数においては影響を受けない。測定値はカソードではなくチャンパーに近い整合ネットワーク43で得ることができる。

【0073】コントローラ86は中央制御装置あるいは制御装置の分散形システムとすることができる。感度のよい基板装置構造を得るにはターンオン／ターンオフシーケンスが重要である。一般に、プラズマ源を始めにオンして最後にオフするのが好適である。これはこの方法によればシース電圧の変化を最小限にできるためである。アプリケーションによっては、バイアスを先にオンする方がよい場合もある。

10. 伝送線構造

参照した特許出願米国特許559,947号に詳細に説明しているように、適正な同軸／伝送線の設計には、低い特性インピーダンスを介した給電、整合ネットワークからウェハまでの短い伝送線、そして伝送線に沿ったリターンパスが必要である。この設計条件はカソード32C、同心環状導体320、およびカソード32Cを取り囲むカソードを同心環状導体320から絶縁し、降伏の可能性のあるプロセスガスを置換する非孔質の低損失絶縁体321からなる図1に示す一体伝送線構造32によって満足される。たとえば、TeflonTMや石英の材料は絶縁耐力が高く、比誘電率が低く、損失が少ないため好適である。この構造の入力側は次に説明する方法で整合ネットワークに接続されている。絶縁されたカソード32Cと外側導体320は整合ネットワーク43とプラズマ16の間に別々の電流路を提供する。一つの可逆電流路は整合ネットワークからカソード32Cの外周に沿ってチャンパー（電極）の表面のプラズマシースに向かう。第2の可逆路はプラズマ16からチャンパー12の上部の内側の部分に沿って次に導電性排気マニホルドスクリーン29に沿って外側導体320の内部を経て整合ネットワークに向かう。排気マニホルドスクリーン29は均一径方向ガスポンピングシステムとRF電流のリターンパスの一部をなすことに注意しなければならない。

【0074】交流エネルギーの印加中、RF電流路の方向は交互に図示する方向とその逆の方向になる。伝送線構造32は同軸ケーブル型の構造であるため、またより詳細にはカソード32Cの内部インピーダンスが（その外側に比べて）高いため、RF電流は同軸伝送線の態様でカソード32Cの外周と外側導体320の内面に流れる。表皮効果によってRF電流が伝送線の表面の近くに集中し、電流路の有効断面積が減少する。たとえば直径4-8インチといった大きな基板とそれに対応する大径のカソード32Cおよび大径の外側導体320を用いると、有効断面が大きくなり、低インピーダンス電流がこの伝送線構造を流れる。また、同軸型伝送線構造32がその特性インピーダンス Z_0 に等しい純抵抗で成端される場合、整合ネットワークは伝送線の長さと無関係に一定のインピーダンス Z_0 を有する。しかし、実際にはこのようにはならない。それはプラズマはある範囲の圧力と電力にわたって動作し、さまざまなガスからなり、これらのガスが集合的にプラズマが伝送線32の終端で提供する負荷インピーダンス Z_L を変化させるためである。負荷 Z_L は理想的でない（すなわち無損失でない）伝送線32に整合していないため、伝送線上にある定在波が伝送線と整合ネットワークの間の抵抗損失、誘電損失その他の損失を増大させる。整合ネットワーク43は定在波や整合ネットワークの入力から増幅器あるいは電源42までの損失を除去するのに用いることができるが、整合ネットワーク、伝送線32、およびチャンパー

内のプラズマは伝送線32と整合ネットワーク43の間の抵抗損失、誘電損失その他の損失を増大させる共振系を構成している。つまり、負荷インピーダンス Z_L は損失と整合しないが、 $Z_L = Z_0$ のとき損失は最小限になる。

【0075】負荷の不整合に起因する損失をなくすために、同軸型伝送線構造32はプラズマ動作に伴う負荷インピーダンスの範囲に最も適した特性インピーダンス Z_0 を持つように設計される。通常、上述の動作パラメータ（例：バイアス周波数範囲は約0.3-3MHz）と考察している材料に対しては、プラズマから伝送線に与えられる直列等価RC負荷インピーダンス Z_L は約10オームから100オームの範囲の抵抗と約50ピコファラドから約400ピコファラドの範囲のキャパシタンスからなる。したがって、伝送線特性インピーダンス Z_0 の最適値としては、負荷インピーダンス範囲の中間、すなわち約30オームから50オームが選択される。

【0076】整合ネットワークの見るプラズマインピーダンスの変形を避けるために伝送線32は非常に短いものでなければならない。好適には、伝送線は $1/4$ 波長（ $\lambda/4$ ）より短くは短い。より好適には約（0.05-0.1） λ である。また、電力結合をより効率的に行うためには、帰リ導体320の内径（断面寸法）は中央導体32Cの外径（断面寸法）より著しく大きいものであってはならない。

【0077】つまり、このチャンパーは整合ネットワーク31からの電力をプラズマ33に結合する伝送線構造を内蔵している。この伝送線構造は（1）プラズマインピーダンスの変形を防止するために対象とする周波数における $1/4$ 波長に比べて非常に短いあるいは半波長にほぼ等しいのが好適であり、（2）プラズマと整合ネットワークの間の線上の定在波の存在に起因する損失を抑制するように選択された特性インピーダンス Z_0 を有し、（3）断面寸法が中央導体の断面寸法よりさほど大きくない外側導体路を用いる。

11. チャンパー温度制御

反応装置チャンパーシステム10に組み入れることのできる温度制御機能には、吸気マニホルドの内部もしくは外部温度をある一定の値の上下に、あるいはある一定の範囲内に維持するための流体伝熱媒体の使用、カソード32Cの抵抗加熱、カソード32Cの流体伝熱加熱あるいは冷却、基板15とカソード32Cの間のガス伝熱媒体の使用、チャンパー壁12-14もしくはドーム17を加熱あるいは冷却するための流体伝熱媒体の使用、および基板15をカソード32Cに拘束するための機械手段あるいは静電手段が含まれるが、これらには限定されない。かかる機能はここで参照した同時譲渡された1989年10月10日付け米国特許第4,872,947号および同時譲渡された1989年6月27日付け米国特許第4,842,683号に開示している。

【0078】たとえば、再循環閉ループ熱交換器90を用いて流体、好適には誘電流体を、流路91に概略を示すように基板支持体/カソード32Cのブロックおよび受台に流して、基板支持体を冷却（もしくは加熱）することができる。シリコン酸化物エッチングの場合、たとえば-40℃の誘電流体温度が用いられる。上述したように、基板5と基板支持体32の間の熱の伝達は基板と支持体の界面のヘリウム等の不活性ガス伝熱媒体によって増強される。

【0079】チャンパー壁とドームは空気の流れ（吹き出された空気）及び/又は誘電流体熱交換器によって加熱もしくは冷却することができる。たとえば、閉回路熱交換器92は通路93に沿ってチャンパーの側壁に加熱から冷却までたとえば+120℃から-150℃までの範囲の制御された温度で誘電流体を再循環させる。同様に、ドーム側壁17Wと頂壁17Tは通路95、97に沿って流体を再循環させる熱交換器94、96によって加熱もしくは冷却することができる。

【0080】代替の誘電体熱制御システムにおいては、アンテナコイル30はドームの二重壁17Wの間に再循環する誘電流体に浸された状態で配置される。別の代替のドーム誘電体熱制御法では、アンテナ30のコイルが高温プラスチックあるいはTeflonTM中に封じられ、伝熱性サーマルグリースがこの封入されたアンテナとドームの間に塗布され、中空のコイルが誘電流体をこのコイルに流すことによって加熱もしくは冷却される。RFエネルギーもまたコイルに加えられ、またプラズマに近接していることから、誘電油は、許容できる流量での効率的熱伝達のための高い固有比熱および密度に加えて、良好な誘電および絶縁特性さらに高い沸点を持っていないなければならない。適当な誘電流体としてはDuPontの販売するSilthermがある。

12. 3電極構成

図1について説明すると、現在の好適な実施例ではこのチャンパーは新しいプロセス制御と改善を可能とする独特の3電極構成を内蔵している。この構成はカソード

（好適には基板支持電極32）、アノード（好適にはチャンパー側壁および底壁）および頂部電極からなり、頂部電極はドームの頂部プレート17T（又はこれを含む）である頂部電極から成る。図1に示すように、頂部電極は浮動、接地されたもの、あるいはRF電源40に接続されたものである。頂部電極はさまざまな構成を含み、さまざまな材料で構成することができる。すなわち、導電性材料（好適にはアルミニウム）、陽極処理したアルミニウム等の誘電体コーティングした材料、アルミニウム-シリコン合金等のシリコン或いはシリコン含有導電材料からなり、あるいはシリコンウエハのような犠牲シリコン部材17Sを含むがシリコン基板には限定されない。

1) 接地された第3の電極

接地された頂部プレート17Tは（壁12によって与えられる従来の基準に対して）バイアス電圧の接地基準面を向上させ、その結果プラズマ源16Aからプロセス領域16Bへのイオン抽出を増強し、したがってプロセス速度（エッチング速度等）を増大させる。さらに、接地された頂部プレートは（プラズマ源で生成された）プラズマと基板の結合を向上させる。

2) バイアスされた第3電極

RFバイアスされた第3の電極を（シリコン含有部材を含むあるいはシリコン含有部材に覆われた電極を用いた）自由なシリコンのソースプラズマへの供給と組み合わせると、エッチング速度や選択度を含むさまざまなプロセス特性が向上する。ソースプラズマの強い解離特性に助けられて、シリコンは気相に入り、自由なフッ素と結合/除去する。（ソースプラズマの解離特性からフッ素含有ガス化学作用をたとえば酸化物エッチングに用いると、高い濃度が得られる。これによって酸化物のエッチング速度が上がるがポリシリコン等の関連の基板材料のエッチング速度も上がり、したがってポリシリコンに対する酸化物の選択度が下がる。）自由なシリコンによるフッ化物イオンの除去によって、炭素を豊富に含有するポリマーを形成する。その結果、酸化物エッチング速度が上がり、ポリシリコンに対する酸化物の選択度が上がり、酸化物エッチングの異方性と垂直プロファイルが増強される。さらに、自由なシリコンは重合反応に影響し、炭素を豊富に含有するポリマーを形成し、そしてそれは酸素が存在すると、酸素含有層をエッチングするように容易にエッチングされるが、酸素が存在しないと、例えば開口が酸素非含有層或いはポリシリコンのような基板に達すると、抑制を増大し、そして酸素非含有基板に関して酸化物の選択度が上がる。

13. 処理例

本発明のリアクターにおいて有利に達成されるプロセスの例は以下のとおりである。

【0081】

例1. 酸化シリコン上でのポリシリコンのエッチング
シリコンウエハ上の酸化シリコンの上にあるポリシリコンを、本発明の3電極チャンパー内で約2ミリトルから約20ミリトルの範囲の圧力、50ccの塩素（Cl₂）エッチャントガス流量（マニホールドG1のみ）、1500ワットの電源電力、20ボルトおバイアス電圧、及び接地された頂部電極（シリコンなし）を用いて行った。その結果、3500-4000オングストローム/分のポリシリコンのエッチング速度、垂直なエッチングプロファイル、及び酸化物に対して100:1以上のポリシリコンの選択度が得られた。

【0082】例2. 酸化シリコン蒸着

シリコンウエハ上の酸化シリコン層に形成された高いアスペクト比開口への二酸化シリコンの2ステップバイアススパッタ蒸着が3電極チャンパー内で、約2ミリトル

から約10ミリの範囲の圧力（両ステップとも）、アルゴン約200cc/酸素約90cc/シラン約45ccのガス流量（両ステップともマニホールドG1のみ）、2000ワットの電源電力（両ステップとも）、接地された頂部電極（両ステップとも）、約-20ボルトのバイアス電圧（第1ステップ）及び約100-200ボルト（第2ステップ）を用いて行った。その結果、第1ステップ（スパッタリングなし）において7500オングストローム/分以上の蒸着と、第2ステップにおいて、約4000-5000オングストローム/分の純酸化物蒸着（プロファイル制御スパッタリング蒸着）が得られた。アルゴンスパッタリングで、開口の上部コーナーを加工し、続いて空隙のない二酸化シリコンで開口を満たし、酸化シリコン層の平坦化を行った。この充填と平坦化は本発明の同じ蒸着チャンバーで、連続的に行うことができる。

【0083】半導体の製造における重大な挑戦は、下部層がポリシリコンや他の酸素非含有材料である場合に、二酸化シリコンの選ばれた厚さをエッチングすることである。露出されたシリコンは殆どエッチングされないけれども、酸化シリコンが比較的早い速度でエッチングされるために、高い選択度が要求される。しかしながら、プラズマ中に曝されると、2つの材料はおよそ同じ速度でエッチングするので、基板上に高分子のコーティングを作るために、フッ化物のソースに CHF_3 等のエッチングガスを加えることは公知である。これはエッチングされるべき酸化シリコンが連続しているけれど、ポリシリコン上に不動態化したコーティングを作る。しかしながら、ポリシリコン上のポリマー層の形成は小さなデバイスの幾何学的構造のエッチングを困難にする。この点における重要なコンセプトは“マイクロローディング”であり、これは1-（エッチング速度比）として定義される。ここで、エッチング速度比はウエハの小さな形状におけるエッチング速度と大きな形状におけるエッチング速度との比である。従って、エッチングプロセスが同じ速度で大小の形状をエッチングするという望ましい特性を有しているなら、このマイクロローディングは $1-1/1=0$ になる。小さな形状が大きな形状より非常に遅い速度でエッチングされるプロセスにおいては、マイクロローディングは1.0に近づく。

【0084】上述されたエッチングの適用における困難な点は、高いエッチングの選択度を得るために、プラズマ中に比較的多量のポリマー形成ガスを使用しなければならないが、しかしポリマー層は0より非常に大きなマイクロローディングを生じることである。通常、約0.1のマイクロローディングの場合、10:1以上の選択度比のものを期待することはできない。しかしながら、0に近いマイクロローディングで、30:1或いは4

* 0:1程度の大きさの選択度比を要求するアプリケーションも多い。

2. プラズマ領域でのシリコンの使用

高密度プラズマ源の場合、ポリシリコンをエッチングする分離生成物の一つはフッ素である。シリコンを用いてプラズマ源領域から自由なフッ素基を除去することができる。シリコンは第3の電極17T上或いはチャンバーの内壁17W上のコーティング形態をとることができる。犠牲シリコンが壁面上にある場合、シリコンの厚さはRFエネルギーがアンテナ30からプラズマに供給される周波数と共に問題となる。これらのパラメータは、十分なエネルギーがチャンバー壁を通して電磁結合されることを保証するように選ばなければならない。シリコンが第3の電極17Tに含まれる場合、シリコンの厚さはさほど重要ではない。いずれにしても、シリコンがプラズマ源領域から自由なフッ素を除去するために利用される場合、チャンバーから容易に除去される揮発性の化合物が形成される。

【0085】シリコンスカベンジャ材料はエッチングプロセス中にそれ自身ポリマーによってコーティングされる。このポリマーは温度上昇の加熱によって除去されるか、或いはシリコンを電気的にバイアスすることによって、シリコン表面の衝撃を増すことができるので、ポリマーは表面からスパッタリングされ、それにより、自由なシリコンを再び露出する。

3. ポリシリコン上の酸化シリコンエッチング

ポリシリコン上に酸化シリコンを、この発明の3電極チャンバー内で約2ミリトールから約30ミリトールの圧力、 CHF_3 、30-60sccm/ CO 或いは CO_2 、6-18sccm/ Ar 、100-200sccm（マニホールドG1のみ）のガス化学作用流量、2000ワットの電源電力、200ボルトのバイアス電圧、頂部電極17Tと、それらに取り付けられた2MHz、1000ワットのRFエネルギーでバイアスされたシリコンディスク17Sを用いて行った。酸化シリコンは8000オングストローム/分の速度でエッチングされ、ポリマーにたいする酸化物の選択度は50:1であった。また、シリコン含有体は石英ドーム壁17W上のシリカコーティングによって補強することができる。

4. 酸素非含有基板上的酸素含有層エッチング

一連のエッチングプロセスが種々の酸素非含有基板上的酸化シリコン等の酸素含有層をエッチングする本発明の反応装置によって行われた。従来のホトリソグラフ技術を用いて酸化物層をパターンニングした後、 CF_4 を用いたエッチングがアースされた第3のシリコン電極を用いて本発明の反応装置で行われた。結果は下記の表1に要約される。

【0086】

表1

実施例	酸化シリコンの厚さ	50 基板	選択度
-----	-----------	-------	-----

	33	
4	5000-10000 Å	
6		
7	5000-10000 Å	
8	5000-20000 Å	
9	5000-20000 Å	
10	5000 Å	
	* 2-3000 Å	

CF₄を用いた他の一連のエッチングが、BPSG (Boro-Phosph-Silicate-Glass) で酸素含有層を置き換えたこと以外は同様の条件で行われた。その結果は下記の表2 *

実施例	酸化シリコンの厚さ
11	5000-10000 Å
12	5000-25000 Å
13	5000-25000 Å

選択度はガス流、電源電力及びシリコン板の条件を変えることによって、調節でき、特別な基板上の特別な酸化シリコンやガラスの選択度を適当にすることができる。フッ素イオンのシリコンスカベンジャを用いて本発明の反応装置において、100:1までの選択度が達成できる。

1.4. 他の特徴

1) プラズマ制御

この発明の特徴は“下部”電力を自動的に変化させて一定のカソード（基板）シース電圧を維持することである。高度に非対照的なシステムにおいては低圧（＜500ミリトル）ではカソードで測定されるDCバイアスはカソードシース電圧の近似値となる。下部電力は自動的に変化させて一定のDCバイアスを維持することができる。下部電力はプラズマ密度やイオン流密度にはほとんど影響しない。上部あるいはアンテナ電力はプラズマ密度やイオン流密度には非常に強い影響を持つが、カソードシース電圧に対する影響は非常に小さい。したがって、上部電力をプラズマ密度やイオン流密度を決めるのに用い、下部電力をカソードシース電圧を決めるのに用いることが望ましい。

2) 差動バイアス

基板5をアースに対してバイアスする代わりに、図1および図2に点線の接続50で示すようにバイアス整合ネットワーク43と頂部プレート17Tをアースから外し、互いをレファレンスとすることもできる。図2を説明すると、頂部プレートは頂部プレートと基板の間の電圧V_{TSS}が頂部プレートと壁12の間の電圧V_{TW}の大ききの約2倍で基板と壁の間の電圧V_{SSW}の大ききの約

	34	
WSi	25:1	
PECVD		
Si ₃ N ₄	15:1	
LPCVD		
Si ₃ N ₄	15:1	
TiN / Al*	15:1	
Al	30:1	
単結晶シリコン	30:1	

*に要約される。

【0087】

表2

基板	選択度
WSi	30:1
p+がドーピングされた単結晶シリコン	30:1
p+がドーピングされた単結晶シリコン	30:1

※2倍になるように差動的に駆動されバランスされる。このバランスされた差動駆動がプラズマと壁の相互作用を少なくし、プラズマ源領域16Aと基板領域16Bの間の相互作用、イオン抽出を多くする。

3) 代替構成

本発明のプラズマ反応装置システムを図1に従来の向き（垂直）で示す。基板5が電極32（カソード）に上にあり、アンテナ30が電極の上のドーム17を取り囲んでいる。便宜上、アンテナ30に供給される電力を“アンテナ”あるいは“プラズマ源”あるいは“上部”電力と呼び、電極／カソード32に供給される電力を“バイアス”あるいは“下部”電力と呼んできた。これらの表現および名称は便宜的なものに過ぎず、説明されたシステムは反転、すなわち電極32を上アンテナをこの電極の下に配置して構成することもでき、あるいは変更を加えることなく他の方法で配置する（たとえば水平に配置する）ことができる。つまり、この反応装置システムは向きに関係なく機能する。反転した構成ではプラズマはアンテナ30で生成され、上方に搬送されて本明細書で説明した方法でアンテナの上に位置する基板5に向かう。すなわち、活性種の搬送は拡散とバルクフローによって発生する。あるいは場合によっては軸勾配を有する磁界に助けられて発生する。この過程は重力には左右されず、したがって方向には比較的影響されない。反転した向きはたとえば気相状態のプラズマ発生領域、あるいは表面上で形成された粒子が基板に落下する可能性を最小限にできるという点で有益である。その後重力によってかかる粒子のうち最小のものだけが重力ポテンシャル勾配に逆らって基板表面に向かって上昇する。

4) 高圧および低圧動作と可変間隔

本発明のチャンバーの設計は高圧動作と低圧動作の両方に有効である。基板支持カソード32Cとアンテナの最下部のコイルあるいは巻線の面の間の間隔dは高圧動作と低圧動作の両方に適応させることができる。たとえば、500ミリトルー50ミリトルの高圧動作には好適には約5cmより小さい間隔dが用いられ、0.1ミリトルー500ミリトルより小さい範囲での低圧動作には5cmより大きい間隔dが好適である。チャンバーには図示するように固定された間隔dを用いることもでき、また交換可能なあるいは入れ子式の上チャンバー部のような可変間隔設計を用いることもできる。反応装置システム10は酸化けい素や窒化けい素といった材料の高圧および低圧蒸着、二酸化シリコン、窒化シリコン、シリコン、ポリシリコン、ガラスおよびアルミニウム等の材料の低圧異方性反応イオンエッチング、かかる材料の高圧プラズマエッチング、および基板の微細構成の平面化を含むかかる材料の同時蒸着およびエッチバックを含むCVDファセッティング、等の処理に有効である。反応装置システム10を用いることのできるこれらの処理およびその他の処理については、同時譲渡されたVHF/UHF PLASMA PROCESS FOR USE IN FORMING INTEGRATED CIRCUIT STRUCTURES ON SEMICONDUCTOR WAFERS (半導体ウエハ上に集積回路を形成する場合に使用するVHF/UHFプラズマプロセス)と題する1990年7月31日付けCollinsその他の米国特許出願07/560,530号(AMATファイルNo.151-2)に説明されている。

15. 装置の例

本発明のシステムの実施例には図1に示すプラズマ源構成とアンテナ構成が含まれている。高さ5インチの石英のプラズマ源チャンバー17の直径は12インチである。2MHz、直径13インチ、高さ4インチ、13巻コイルアンテナが両端で(接地された可変コンデンサLとTで)グラウンドプレーンから(の下)約0.25インチ間隔をおいて成端し、プラズマ源を取り囲んでいる。反応負荷整合が可変コンデンサL(10-3000ピコファラド可変コンデンサ、定格5kV)によって供給されている。またアンテナの共振への容量性同調が同調コンデンサT(5-100ピコファラド、15kV定格)によって提供されている。2キロワット2MHzのソースRFエネルギーを用いた動作を行うと、2インチ下流(プラズマ源の下)のウエハに伸長するプラズマが提供される。これが $1-2 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ のプラズマ密度と基板の下流で $10-15 \text{ mA}/\text{cm}^2$ のイオン飽和電流密度を提供する。アンテナの約2インチ下(下流)の支持電極に配置された5インチの基板に印加される2MHz、600ワ

* ットの下部あるいはバイアスは200ボルトのカソードシース電圧を提供する。

【0088】当業者には、本発明がドームの使用に限定されるものではないことは明白であろう。むしろ、本発明はプラズマ源領域とプロセス領域を有するほとんどあらゆる構成に適用し得るものである。これには、たとえば図示するような“階段状の”ドーム型チャンパー構成や、プラズマ源領域とプロセス領域あるいはチャンパー部分がほぼ同じ断面を有する非階段状の構成がある。

10 【0089】上述したように、この発明を実施した上述の反応装置は反応性イオンエッチング(RIE)、高圧プラズマエッチング、スパッタファセット蒸着および平面化を含む低圧化学蒸着(CVD)および高圧コンフォーマル等方性CVD等のさまざまなプラズマ加工に独自の効果を提供する。アプリケーションにはスパッタエッチング、イオンビームエッチング、あるいは電子としてはイオンあるいは活性中性プラズマ源があるが、それらに限定されるものではない。

20 【0090】本発明の装置及びプロセスの好適な実施例を記載したので、当業者は特許請求の範囲内で装置及び方法を容易に応用し、変更しそして拡張することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ反応装置の断面図

【図2】本発明のプラズマ反応装置の断面図

【図3】本発明のプラズマ反応装置の断面図

【図4】同調回路を示す図

【図5】負荷回路を示す図

【図6】RF入力を印加した負荷回路を示す図

30 【図7】同調回路と負荷回路の結合を示す図

【図8】同調回路と負荷回路の結合を示す他の実施例図

【図9】同調回路と負荷回路の結合を示す他の実施例図

【図10】酸化シリコンとシリコンのバイアス電圧に対するエッチング/蒸着速度

【図11】エッチング中に印加されたDCバイアス電圧波形図

【図12】エッチング中に印加されたDCバイアス電圧波形の他の図

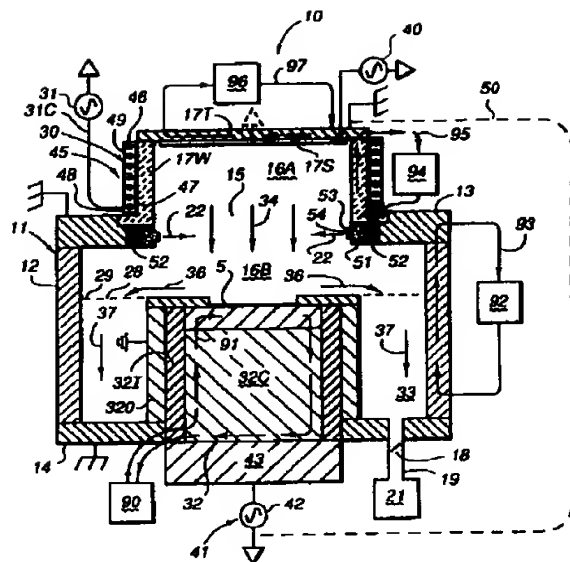
40 【図13】本発明の反応室のドームにおける磁石アレイの水平面配置図

【図14】(A)-(D)は本発明システムの色々な形状の磁力線を示す図

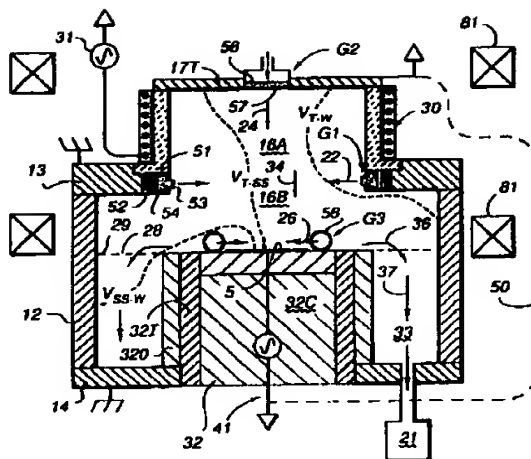
【図15】(A)-(B)は本発明システムに有用なファラデーシールドの実施例を示す図

【図16】本発明システムに様々な構成要素の制御システムのブロックダイアグラム

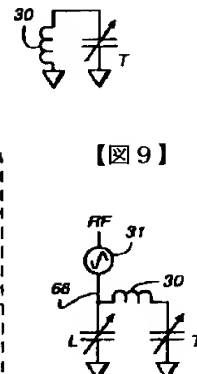
【図1】



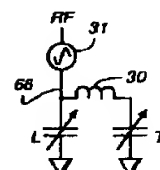
【図2】



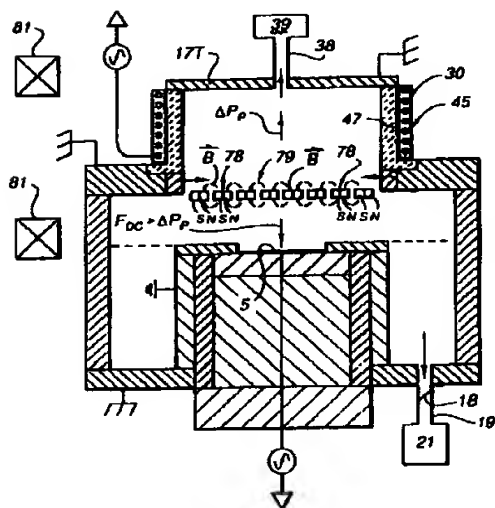
【図4】



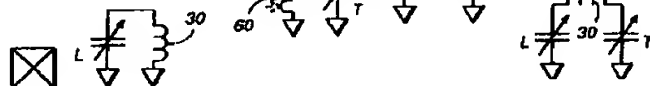
【図9】



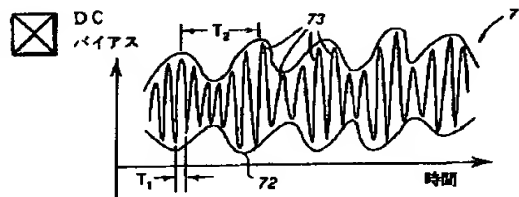
【図3】



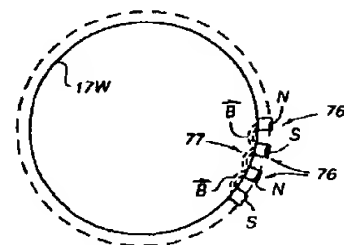
【図5】



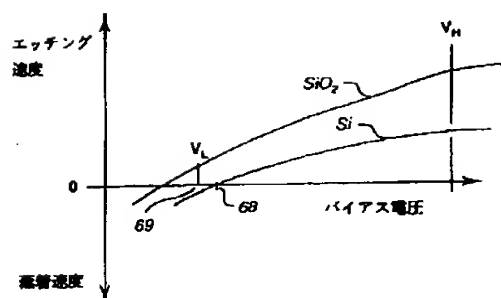
【図12】



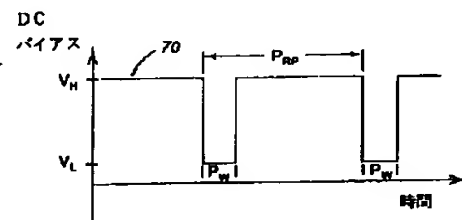
【図13】



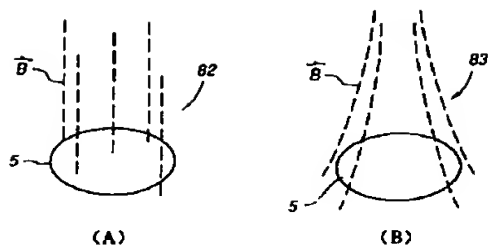
【図10】



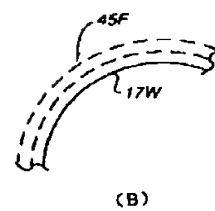
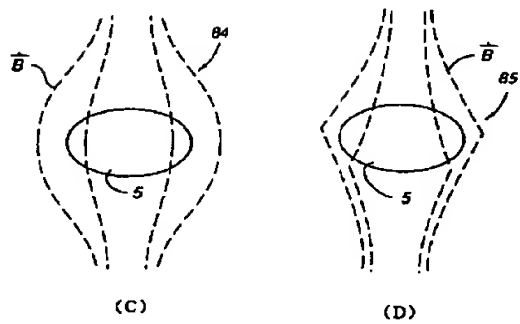
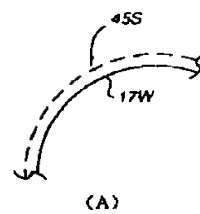
【図11】



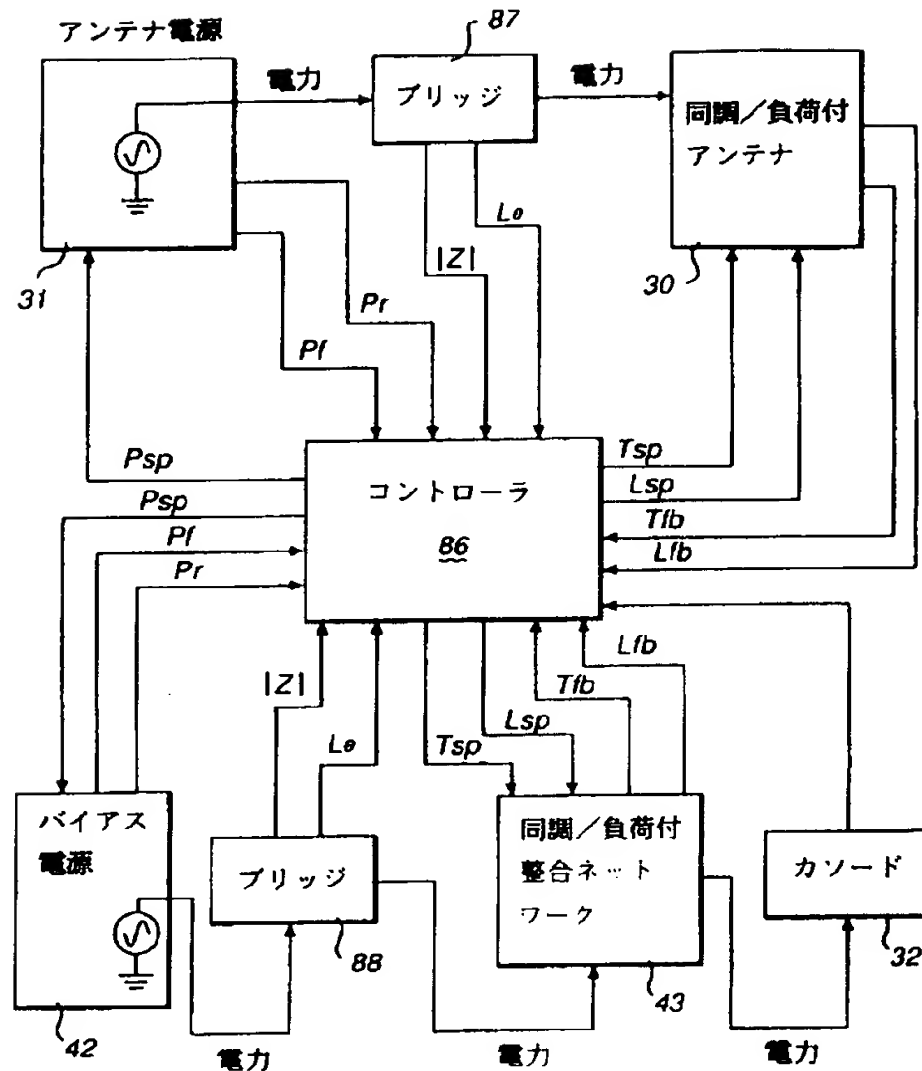
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 チャン ロン ヤン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95032 ロス ガトス リロイ アベニュー
16788

(72)発明者 ジェリー ユーエン クイ ウォン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94539 フリーモント クーガー サークル
44994

(72)発明者 ジェフリー マークス
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95129 サン ホセ シエロ ヴィスタ
ウェイ 4730

(72)発明者 ピーター アール ケズウィック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94560 ニューアーク ヨアキン マリエ
タ アベニュー 6371エイ

(72)発明者 ディヴィッド ダブリュー グローチェル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94087 サニーヴェイル ロビン ウェイ
927